Leçons des
concours d'agrégation du Val-de-Grâce



Livre de l'École du Val-de-Grâce

Annales 2013-2014

Ministère de la Défense

École du Val-de-Grâce

Livre de l'École du Val-de-Grâce

Annales 2013-2014

ISBN : 978-2-11-138874-1

Sommaire

Éditorial 7
MGI François Pons

Liste des auteurs 9

Chaire d'anesthésie-réanimation et urgences appliquées aux armées

Victime d'explosion : extension du concept de *Damage control* à la prise en charge préhospitalière. 17
Jean-Pierre Tourtier

Chaire de chirurgie appliquée aux armées
Chirurgie orthopédique

Place actuelle et perspectives de l'arthroscopie dans la chirurgie de l'épaule 33
Jean-François Gonzalez

Les fractures ouvertes du membre inférieur en situation précaire : exemple de l'Afrique de l'Ouest 51
Coumba Diouf Niang

Chirurgie viscérale et générale
Intérêts et avenirs de la simulation et des technologies numériques dans la formation des chirurgiens militaires 67
Thierry Peycru

Chirurgie thoracique
Thoracotomie de ressuscitation en chirurgie de guerre 79
Jean-Philippe Avaro

Chirurgie urologique
La chirurgie robotique : état actuel et perspectives au sein du Service de santé des armées...89
Xavier Durand

Chirurgie plastique reconstructrice

Voies de recherche et perspectives dans la prise en charge des brûlés **103**
Patrick Duhamel

Mise en place et perspectives de la microchirurgie dans les pays émergents **123**
Karim El Khatib

Chaire de chirurgie spéciale appliquée aux armées

Neurochirurgie

Les traumatismes rachidiens en chirurgie de guerre **139**
Arnaud Dagain

Ophtalmologie

Les plaies oculo-orbitaires en situation de conflit........................ **155**
Jean-Marie Giraud

Chaire de médecine appliquée aux armées

Le diabète dans les armées **169**
Lise Sirvin ép. Bordier

Infections et maladies systémiques **183**
Thierry Carmoi

Les maladies auto-immunes : un défi pour l'Afrique subsaharienne **197**
Gning Sara Boury

Chaire de psychiatrie et psychologie clinique appliquées aux armées

Médecine aéronautique

Psychologie individuelle et collective des situations d'exposition à un stress prolongé : projection sur les enjeux des vols spatiaux de longue durée **209**
Marie-Dominique Colas

Chaire de recherche appliquée aux armées

Discipline « biologie des agressions »

Enjeux scientifiques et risques de la biologie synthétique **225**
Éric Valade

Chaire d'imagerie médicale appliquée aux armées et risque radio-nucléaire

Radioprotection en environnement extrême **235**
Jean-Christophe Amabile

Place de l'imagerie et perspectives dans la prise en charge des tumeurs malignes des voies aéro-digestives supérieures **251**
Jean Rousset

Chaire d'épidémiologie, santé publique et prévention appliquées aux armées

Notion de pénibilité en médecine du travail : application au personnel militaire..**263**
Jean-François Ferrand

Chaire de sciences pharmaceutiques appliquées aux armées et risque chimique

Les nouvelles technologies de l'information et de la communication au service de la sécurité de l'utilisation des produits de santé ...**281**
Claude Dussart

Expositions chimiques des militaires en environnement opérationnel : comment les évaluer ? **299**
Jean-Ulrich Mullot

Chaire de biologie appliquée aux armées et risque biologique

Les enjeux liés aux bactéries multirésistantes en opérations extérieures **313**
Audrey Merens ép. Gontier

Coordination de l'ouvrage :
Médecin général Jean-Bertrand Nottet, École du Val-de-Grâce.
Médecin en chef Gilles Defuentes, Inspection du Service de santé des armées.
Madame Martine Scherzi, École du Val-de-Grâce.
Madame Danièle Trioreau, École du Val-de-Grâce.

Éditorial

Le recrutement des praticiens professeurs agrégés du Service de santé des armées (SSA), professeurs agrégés du Val-de-Grâce, est une des missions de l'École du Val-de-Grâce.

À l'issue de quatre épreuves jugeant du parcours professionnel et des qualités scientifiques et pédagogiques du candidat à l'agrégation une cinquième épreuve, surnommée « leçon des 24 heures », vient clôturer ce concours exigeant. Pour cette dernière épreuve le candidat doit préparer en une journée une conférence sur un thème donné par le jury. Il est totalement libre tant pour les documents qu'il utilise ou consulte que pour les soutiens et conseils qu'il sollicite : camarades de la spécialité, maîtres et patrons, collaborateurs de son service, élèves plus jeunes souvent plus tournés vers les nouvelles technologies … Finalement cette épreuve est au plus prés de la vie quotidienne d'un professeur : comment préparer en une journée une leçon ou une conférence pour laquelle il est sollicité au dernier moment.

Ces « leçons », la plupart du temps de très haut niveau, étaient rarement diffusées une fois le concours terminé. Ce fut le mérite du Médecin général inspecteur Vergos de vouloir rassembler dans le troisième volume des Annales de l'École du Val-de-Grâce (le Livre de l'École) une sélection des leçons prononcées ces dernières années.

Nous avons voulu poursuivre cette action en rassemblant dans ce quatrième volume certaines leçons des deux dernières années et nous remercions les jeunes professeurs des dix chaires de l'École qui ont bien voulu mettre par écrit ces leçons prononcées le jour du concours. Nous apprécions parmi eux la présence de professeurs marocains et sénégalais, témoin des liens anciens et forts avec ces pays où œuvrent des professeurs de l'École du Val-de-Grâce.

Ces leçons abordent des sujets extrêmement variés faisant une large place aux opérations extérieures et aux environnements extrêmes mais montrant aussi l'importance de la pratique quotidienne hospitalière et de recherche dans le SSA. Nous souhaitons que la lecture de ce Livre montre la qualité du corps professoral et son investissement constant pour « porter la science », en répondant aux impératifs qui sont l'essence même de notre existence : le soutien des forces, la participation au service public hospitalier et la recherche.

Médecin Général Inspecteur François PONS
Professeur agrégé du Val-de-Grâce
Directeur de l'enseignement et de la formation du Service de santé des armées
Directeur de l'École du Val-de-Grâce

Liste des auteurs

Abgral Ronan, docteur, CHRU Brest.
Abou-Anoma Guillaume, médecin des armées, Centre de médecine de prévention des armées de Brest.
Agay Diane, vétérinaire en chef, IRBA, Brétigny.
Algayres Jean-Pierre, médecin chef des services, 2e S.
Allanic Laurent, médecin en chef, Service d'anesthésie–réanimation, HIA Sainte-Anne, Toulon.
Allio Ingrid, pharmacien en chef, LASEM Brest.
Almeras David, pharmacien en chef, HIA du Val-de-Grâce, Paris.
Amabile Jean-Christophe, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, SPRA, Clamart.
Armoiry Xavier, docteur, Hospices Civils de Lyon.
Auxéméry Yann, médecin des armées (TA), Service de psychiatrie, HIA Legouest, Metz.
Avaro Jean-Philippe, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de chirurgie thoracique, HIA Laveran, Marseille.
Bargues Laurent, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Centre de traitement des brûlés, HIA Percy, Clamart.
Barthélémy Raphael, médecin en chef, Service d'orthopédie traumatologie, HIA Percy, Clamart.
Bauduceau Bernard, médecin général inspecteur, professeur agrégé du Val-de-Grâce, 2e S.
Bauer Bertrand, médecin en chef, Service d'orthopédie traumatologie, HIA Percy, Clamart.
Bazile Fabrice, médecin principal, Service d'orthopédie traumatologie, HIA Percy, Clamart.
Benoist Nicolas, docteur, Service d'urologie, Clinique d'Anjou, Angers.
Beranger Fabien, médecin des hôpitaux des armées, HIA Laveran, Marseille.
Bertani Antoine, médecin en chef, HIA Desgenettes, Lyon.
Besset Marianne, chirurgien, Service de chirurgie plastique, CHRU Tours.
Bey Éric, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de chirurgie plastique, HIA Percy, Clamart.
Biance Nicolas, médecin en chef, HIA R. Picqué, Bordeaux.
Bigaillon Christine, médecin en chef, HIA Bégin, Saint-Mandé.
Biot Fabrice, pharmacien en chef, IRBA, ERL Lyon.
Bisconte Sébastien, médecin principal, DEA-CPEMPN, HIA Percy, Clamart.
Boddaert Guillaume, médecin principal, Service chirurgie thoracique, HIA Percy, Clamart.
Bohand-Bales Sandra, pharmacien en chef, Division dosimétrie du SPRA, Clamart.
Boileau Pascal, professeur des universités et praticien hospitalier, Service de chirurgie orthopédique et traumatologie du sport, CHU de l'Archet II, Nice.
Bonnet Stéphane, médecin en chef, HIA Percy, Clamart.

Bordes Julien, médecin en chef, Service d'anesthésie – réanimation, HIA Sainte-Anne, Toulon.
Bordier Emmanuel, médecin en chef, HIA Bégin, Saint-Mandé.
Bordier-Sirvin Lyse, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service d'endocrinologie, HIA Bégin, Saint-Mandé.
Bosset Pierre Olivier, docteur, Service d'urologie, Hôpital Foch, Suresnes.
Bouard Bertrand, médecin en chef, Centre de médecine de prévention des armées, Brest.
Bousquet Aurore, pharmacien des armées, HIA Bégin, Saint-Mandé.
Brachet Michel, médecin en chef, Service de chirurgie plastique et maxillo-faciale, HIA Percy, Clamart.
Cambon Audrey, interne des hôpitaux des armées, HIA du Val-de-Grâce, Paris.
Cantaloube Daniel, médecin en chef (cr), professeur agrégé du Val-de-grâce, Service de chirurgie plastique, HIA Percy, Clamart.
Carde Axel, pharmacien en chef, HIA Clermont-Tonnerre, Brest.
Carmoi Thierry, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de médecine interne, HIA du Val-de-Grâce, Paris
Caruhel Jean-Baptiste, interne des hôpitaux des armées, Service de chirurgie plastique, HIA Percy, Clamart.
Cazeres Christophe, médecin en chef, Service de chirurgie viscérale, HIA Laveran, Marseille.
Cazoulat Alain, pharmacien en chef, Division contrôle du SPRA, Clamart.
Ceppa Franck, pharmacien en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, HIA Bégin, Saint-Mandé.
Chollet Sabine, civile, psychologue, DGAC, Paris.
Cirodde Audrey, médecin principal, Centre de traitement des brulés, HIA Percy, Clamart.
Clervoy Jean-François, civil, Spationaute à l'Agence spatiale européenne.
Coisy Marie, interne des Hôpitaux des armées, HIA R. Picqué, Bordeaux.
Colas Marie-Dominique, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, CPEMPN, HIA Percy, Clamart.
Costiou Françoise, lieutenant, Cadre de santé service d'orthopédie traumatologie, HIA Percy, Clamart.
Créhange Gilles, pharmacien en chef, DCSSA, Paris.
Dagain Arnaud, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de neurologie, HIA Sainte-Anne, Toulon.
De Belnet Hubert, chirurgien orthopédiste, Clinique résidence du Parc, Marseille.
De Carbonnières Hubert, médecin chef des services, Direction SPRA, Clamart.
De Lesquen du Plessis Casso Henri, médecin des hôpitaux des armées, HIA Laveran, Marseille.
De Terrasson de Montleau Franck, médecin en chef (TA), professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de psychiatrie, HIA Percy, Clamart.
Defuentes Gilles, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, ISSA, Paris.

Delacour Hervé, pharmacien principal, HIA Bégin, Saint-Mandé.
Delaune-Claverie Deborah, médecin des armées, HIA Bégin, Saint-Mandé.
Delbarre Maxime, interne des hôpitaux des armées, HIA Percy, Clamart.
Delmas Jean-Marc, médecin en chef, Service de neurochirurgie, HIA Val-de-Grâce, Paris.
Deloynes Bernard, médecin en chef, Service d'orthopédie traumatologie, HIA Percy, Clamart.
Desfemmes François-Régis, médecin en chef, Service d'urologie, HIA du Val-de-Grâce, Paris.
Diallo Ibrahima, docteur, Hôpital principal de Dakar, Sénégal.
Diédhiou Ismaela, docteur, Hôpital principal de Dakar, Sénégal.
Diouf Niang Coumba, médecin lieutenant-colonel, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de chirurgie orthopédique et traumatologie, Hôpital principal de Dakar, Sénégal.
Doddoli Christophe, professeur, Service de chirurgie thoracique, CHU Marseille.
Donat Nicolas, médecin en chef, Centre de traitement des brulés, HIA Percy, Clamart.
Dorandeu Frédéric, pharmacien en chef, IRBA/OLT, antenne Grenoble.
Dot-Michel Corinne, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service ophtalmologie, HIA Desgenettes, Lyon.
Duhamel Patrick, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de chirurgie plastique, HIA Percy, Clamart.
Duhoux Alexandre, médecin principal, Service de chirurgie plastique, HIA Percy, Clamart.
Dulou Renaud, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de neurochirurgie, HIA du Val-de-Grâce, Paris.
Dumas Guillaume, médecin des armées, HIA Bégin, Saint-Mandé.
Dupuy Olivier, médecin chef des services, HIA Bégin, Saint-Mandé.
Durand Xavier, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service d'urologie, HIA du Val-de-Grâce, Paris.
Dusaud Marie, médecin des armées, Service d'urologie, HIA du Val-de-Grâce, Paris.
Dussart Claude, pharmacien en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de pharmacie hospitalière, HIA Desgenettes, Lyon.
El Chehab Hussam, médecin principal, Service ophtalmologie, HIA du Val-de-Grâce, Paris.
El Khatib Karim, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service chirurgie plastique chirurgie maxillo-faciale et stomatologie, HMI Mohammed V, Rabat Maroc.
Entine Fabrice, médecin principal, Bureau de radioprotection médicale, SPRA, Clamart.
Eulry François, médecin général inspecteur, professeur agrégé du Val-de-Grâce, 2e S.
Faivre Anthony, médecin en chef, Service de neurologie, HIA Sainte-Anne, Toulon.
Fall Mouhamadou Mansour, médecin commandant, Service d'anesthésie réanimation, Hôpital principal Dakar, Sénégal.
Faye Moussa, médecin colonel, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service d'orthopédie traumatologie, Hôpital principal de Dakar, Sénégal.

Fénolland Jean-Remi, médecin principal, Service ophtalmologie, HIA du Val-de-Grâce, Paris.
Ferrand Jean-François, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, CMPA Paris EHMP Saint-Mandé.
Ferval Françoise, docteur, CHU Angers.
Feuvrier Yann, docteur, SELARL Radiologie Liberté Brest.
Ficko Cécile, médecin en chef, Service de médecine interne, HIA Bégin, Saint-Mandé.
Forsans Emma, médecin des armées, Département d'anesthésie-réanimation, HIA du Val-de-Grâce, Paris.
Fossat Sébastien, médecin en chef, Service de chirurgie plastique, HIA Percy, Clamart.
Fourcade Laurent, médecin chef des services, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de pathologie cardio-vasculaire, HIA Alphonse Laveran, Marseille.
Fournier Cyril, Pilote de ligne de la compagnie Air France.
Franck Laetitia, médecin des armées, Département d'anesthésie-réanimation, HIA Percy, Clamart.
Francoz Marlène, médecin des armées.
Gagna Gérald, médecin en chef, Bureau de radioprotection médicale, SPRA, Clamart.
Garcia Cyril, médecin en chef, Service d'endocrinologie, HIA Bégin, Saint-Mandé.
Garétier Marc, médecin des armées, HIA Clermont-Tonnerre, Brest.
Garnotel Éric, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de biologie médicale, HIA Laveran, Marseille.
Généro-Gygax Maryline, médecin chef des services, professeur agrégé du Val-de-Grâce, HIA Bégin, Saint-Mandé.
Géraut Laurent, médecin principal, Centre de médecine de prévention des armées de Metz.
Giraud Jean-Marie, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service d'ophtalmologie, HIA Sainte-Anne, Toulon.
Giraud Pierre-Yves, médecin en chef, Service de dermatologie, HIA Laveran, Marseille.
Gning Sara Boury, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Services médicaux, Hôpital principal de Dakar, Sénégal.
Goin Géraldine, médecin des hôpitaux des armées, Service de chirurgie viscérale, HIA Laveran, Marseille.
Gontier Éric, médecin en chef, Service de médecine nucléaire, HIA du Val-de-Grâce, Paris.
Gonzalez Jean-François, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de chirurgie orthopédique et traumatologie, HIA Sainte-Anne, Toulon.
Grand Bertrand, médecin principal, Service chirurgie thoracique, HIA Percy, Clamart.
Guevel Erwan, médecin en chef, Centre de médecine de prévention des armées, Toulon.
Hivelin Mikael, PHU, Service de chirurgie plastique, Hôpital Européen Georges Pompidou, Paris.
Janvier Frédéric, médecin principal, HIA Sainte-Anne, Toulon.
Jarry Julien, médecin en chef, HIA R. Picqué, Bordeaux.

Jault Patrick, médecin en chef, Centre de traitement des brûlés, HIA Percy, Clamart.
Joly Agnès, civile.
Joubert Christophe, interne des hôpitaux des armées, Service de neurochirurgie, HIA Sainte-Anne, Toulon.
Khales Amine, médecin capitaine, Hôpital militaire d'instruction Mohammed V, Rabat, Maroc.
Klotz Caroline, interne des hôpitaux des armées, HIA du Val-de-Grâce, Paris.
Koch Lionel, médecin des armées, Centre médical des armées, Saint-Germain en Laye.
Koulmann Nathalie, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, IRBA, Brétigny.
Lahutte Bertrand, médecin en chef, Service de psychiatrie, HIA du Val-de-Grâce, Paris.
Lahutte-Auboin Marion, médecin en chef, Service d'imagerie médicale, HIA du Val-de-Grâce, Paris.
Lakhel-Le Coadou Anne, médecin en chef, Service de chirurgie plastique et maxillo-faciale, HIA Percy, Clamart.
Lamy Amandine, interne des hôpitaux des armées, Service de chirurgie orthopédique et traumatologie, HIA Legouest, Metz.
Laot C., SMCS.
Laroche Pierre, médecin chef des services (R), professeur agrégé du Val-de-Grâce.
Lataillade Jean-Jacques, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, CTSA, laboratoire de recherches et thérapies cellulaires, Ilot Percy, Clamart.
Le Marquand-Barbot Capucine, médecin principal, Centre de médecine de prévention des armées, Bordeaux.
Leclerc Thomas, médecin en chef, Centre de traitement des brûlés, HIA Percy, Clamart.
Lecompte Yannick, pharmacien principal, Laboratoire de contrôle radiotoxicologique, SPRA, Clamart.
Le Goff S., SMCS.
Lecoules Stéphane, médecin en chef, Service de médecine interne, HIA du Val-de-Grâce, Paris
Legname Marc, médecin principal, Service de chirurgie orthopédique et traumatologie, HIA Legouest, Metz.
Leparc-Goffart Isabelle, IDEF, IRBA, Brétigny.
Libert Nicolas, médecin principal, Département d'anesthésie-réanimation, HIA du Val-de-Grâce, Paris.
Malka Gabriel, professeur émérite, membre de l'Académie nationale de chirurgie, Université de Bourgogne.
Manen Olivier, médecin en chef, DEA-CPEMPN, HIA Percy, Clamart.
Margery Jacques, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de pneumologie, HIA Percy, Clamart.
Martigne Alain, médecin en chef, IRBA, Brétigny.
Martinaud Christophe, médecin en chef, HIA Percy, Clamart.
Maruani Patricia, civile, Pôle médical DSAC/PN - DGAC, Paris.

Massoubre Catherine, professeur, CHU Saint-Etienne.
Mathieu Laurent, médecin en chef, Service de chirurgie orthopédique, HIA Desgenettes, Lyon.
Mayaudon Hervé, médecin chef des services, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service d'endocrinologie, HIA Bégin, Saint-Mandé.
Mérat Stéphane, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Département d'anesthésie-réanimation, HIA Bégin, Saint-Mandé.
Mérat-Tagnard Florence, médecin en chef, Centre de médecine de prévention des armées de Paris/EHMP.
Mérens-Gontier Audrey, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de biologie médicale, HIA Bégin, Saint-Mandé.
Metz Jean-Pierre, colonel, Inspection générale des armées-Terre, Paris.
Meynard Jean-Baptiste, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Centre d'épidémiologie et de santé publique des armées, Marseille.
Michel Xavier, médecin en chef, Division médicale, SPRA, Clamart.
Michiels Fabrice, médecin en chef, Centre de médecine de prévention des armées, Bordeaux.
Morand Jean-Jacques, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de dermatologie, HIA Sainte-Anne, Toulon
Moulin Philippe, médecin en chef, Centre de médecine de prévention des armées, Toulon.
Mullot Jean-Ulrich, pharmacien en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, LASEM/LCA Toulon.
Murison James-Charles, interne des hôpitaux des armées, Service d'orthopédie traumatologie, HIA Percy, Clamart.
N'Guyen Minh Khanh, médecin en chef, Service de chirurgie orthopédique et traumatologie, HIA Sainte-Anne, Toulon.
Neyton Lionel, chirurgien orthopédiste, Hôpital privé Jean Mermoz, Lyon.
Nuzzaci Fabien, médecin en chef, Service d'orthopédie traumatologie, HIA Percy, Clamart.
Ogougbémy Modeste, médecin colonel, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de chirurgie viscérale, Hôpital principal Dakar, Sénégal.
Pagès Jean-Marie, docteur, UMR-MD1, Université AIX-Marseille.
Pasquier Pierre, médecin principal, Département d'anesthésie-réanimation, HIA Bégin, Saint-Mandé.
Pelée de Saint Maurice Guillaume, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Département d'anesthésie-réanimation, HIA Val-de-Grâce, Paris.
Peloni Jean-Michel, médecin en chef, Service de pneumologie, HIA Desgenettes, Lyon.
Petit Aubert Gwenaëlle, docteur.
Peycru Thierry, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de chirurgie viscérale, HIA R. Picqué, Bordeaux.
Peyrefitte Christophe, pharmacien en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, ESA, Lyon.

Plumet Sébastien, ICA, DGA MNRBC, Brétigny sur Orge.
Potet Julien, médecin principal, HIA Percy, Clamart.
Rigal Sylvain, médecin chef des services, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service d'orthopédie traumatologie, HIA Percy, Clamart.
Rivière Frank, médecin en chef, Centre de médecine de prévention des armées de Paris/EHMP.
Rogez David, médecin en chef, Service de médecine physique et réadaptation, HIA Percy, Clamart.
Rouault Médéric, pharmacien, HIA Desgenettes, Lyon.
Rouquie Delphine, médecin en Chef, Service de chirurgie viscérale, HIA du Val-de-Grâce, Paris.
Roussel Olivier, pharmacien en chef, IRGGN.
Rousselle Christophe, ANSES.
Rousset Jean, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service d'imagerie médicale, HIA Clermont-Tonnerre, Brest.
Safsaf Atmane, docteur, Service d'urologie, CHU Rouen.
Salin Ambroise, docteur, Service d'urologie, Clinique du Languedoc, Toulouse.
Schoulz Daniel, médecin en chef (CR), Service de santé au travail du CEA, Bruyères-le-Châtel.
Schwartz Antoine, médecin principal, HIA R. Picqué, Bordeaux.
Solignac Gérard, médecin chef des services (cr), SMPCAA/DEA – CPEMPN, Clamart.
Soucanye de Landevoisin Emmanuel, médecin principal, Service de chirurgie orthopédique et traumatologie, HIA Laveran, Marseille.
Tardat Éric, médecin en chef, HIA R. Picqué, Bordeaux.
Tazarourte Karim, professeur, SAMU 69.
Thefenne Laurent, médecin en chef, RRF HIA Laveran, Marseille.
Thibault François, pharmacien en chef, IRBA/ERL Lyon.
Thouard Hervé, médecin chef des services, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Service de chirurgie viscérale, HIA Sainte-Anne, Toulon.
Tissot Valentin, docteur, CHRU Brest.
Tourtier Jean-Pierre, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, Brigade de sapeurs-pompiers de Paris.
Trichereau Julie, statisticienne, Centre d'épidémiologie et de santé publique des armées, îlot Bégin, Saint-Mandé.
Vaillant PY, médecin en chef.
Valade Éric, médecin en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce, IRBA, Brétigny.
Valéro Bernard, médecin principal, HIA Sainte-Anne, Toulon.
Valette Gérald, docteur, CHRU Brest.
Vautier-Brocq Virginie, médecin principal (TA), Service de psychiatrie, HIA Sainte-Anne, Toulon.
Verret Catherine, médecin en chef, IRBA, Brétigny.
Vittori Emmanuel, pharmacien en chef, Direction centrale du Service de santé des armées, Paris.
Watier-Grillot Stéphanie, vétérinaire principal, Antenne vétérinaire, Brest.

Chaire d'anesthésie-réanimation et urgences appliquées aux armées

Victime d'explosion : extension du concept de *Damage control* à la prise en charge pré-hospitalière

Jean-Pierre Tourtier

1. Introduction

Le *Damage control* (DC) est initialement un concept de tactique navale. Il décrit des actions comme éteindre les feux, étanchéifier grossièrement la coque, limiter l'extension des inondations, pour maintenir le bateau à flot et continuer à manœuvrer et combattre, jusqu'à une réparation définitive ultérieure. Par analogie, toute stratégie de prise en charge d'un traumatisé grave hémorragique qui peut à la fois arrêter l'hémorragie avant exsanguination et permettre la survie, procède du DC.

Initialement développé en traumatologie civile, le concept de DC a trouvé une application importante chez les blessés de guerre, majoritairement victimes d'explosions.

Nous présenterons d'abord des éléments de compréhension concernant les lésions par explosion à haute énergie, puis les principes de la chirurgie et de la réanimation de DC.

Dans une seconde partie, nous exposerons les éléments de prise en charge spécifiques du DC pré-hospitalier.

2. Éléments de compréhension

2.1. Explosion à haute énergie

Dans les conflits actuels, l'explosion à haute énergie est le mécanisme lésionnel dominant [1].

Une explosion à haute énergie est caractérisée par une réaction chimique très rapide avec sublimation. Le changement d'état de la matière vers la forme gazeuse en un temps très court provoque une onde de choc, un souffle, un dégagement de chaleur (réaction exothermique).

En milieu aérien, cette explosion produit une onde de choc (onde de Friedlander) se traduisant par une augmentation vive et quasi instantanée de la pression atmosphérique, suivie d'une décroissance exponentielle. Cette onde est dite statique, indépendante d'un déplacement gazeux. Il y a donc un pic de pression par onde de choc suivi de la détente des gaz avec un retour à la pression atmosphérique. L'onde de pression se propage de façon centrifuge. Une onde de pression dynamique suit, correspondant au déplacement d'une grande masse d'air à haute vitesse. Le souffle est

donc dû au déplacement des masses d'air environnantes par l'expansion du volume de gaz produit. Tout corps ou objet mobilisable rencontré par cette grande masse d'air en mouvement subit de sa part une accélération brutale.

Aussi, les lésions par explosion [2, 3] sont classées en cinq catégories. Les lésions primaires (blast injuries) sont liées strictement directement à l'onde de choc. Elles peuvent inclure des lésions d'organes creux (lésions pulmonaires, du tube digestif, tympaniques) et des lésions d'organes pleins (lésions orthopédiques, cérébrales, hépatiques et spléniques). En effet, la transmission de l'onde de choc dans l'organisme altère les tissus en fonction de leurs capacités propres d'amortissement, en comprimant les milieux gazeux et en déplaçant les milieux solides : les lésions de l'onde de choc touchent ainsi tant les organes à contenu gazeux que les organes pleins. Les lésions secondaires et tertiaires sont liées au souffle. Elles sont respectivement projectilaires et consécutives à la projection de la victime elle-même. Les lésions quaternaires sont des lésions indirectes par brûlure et/ou inhalation/intoxication par incendie, effondrement d'un bâtiment. Les lésions quinternaires, plus récemment individualisées, se rapprochent d'un syndrome d'inflammation à réponse systémique (SIRS).

Focalisons-nous sur les lésions primaires. Le blast pulmonaire est caractérisé par une inondation alvéolaire (sang), une contusion, un pneumothorax, un pneumomédiastin, l'apparition de fistules alvéolo-veineuses et d'embolies gazeuses. Quatre pour cent des militaires blessés par explosion sont concernés [4, 5]. Le blast digestif est caractérisé par un hématome du tube digestif qui peut se perforer secondairement. Le seuil lésionnel digestif est semblable à celui du poumon [6]. Le blast digestif est rarement isolé [7]. Des perforations immédiates ou retardées ont été observées [8] ainsi que des lésions hépatiques ou spléniques [9]. Le tympan étant un organe à contenu gazeux, le blast tympanique peut survenir, avec apparition d'une hyperhémie, d'un hémotympan ou d'une perforation du tympan [2]. Il est un marqueur modérément sensible et spécifique du risque de blast pulmonaire.

Si la physiopathologie du blast primaire fait l'originalité du mécanisme lésionnel des explosions à haute énergie, en pratique, les lésions projectilaires sont les plus fréquentes, mettent le plus souvent le pronostic vital en jeu par hémorragie majoritairement externe, provoquent des traumatismes pénétrants multiples difficiles à diagnostiquer de manière exhaustive [10, 11]. Les marges de progrès dans la prise en charge du combattant blessé sont essentiellement dans l'optimisation de la phase pré-hospitalière, notamment dans la maitrise précoce des hémorragies externes accessibles à une hémostase sur le terrain [12].

2.2. Concept de Damage control

2.2.1 Naissance du concept de Chirurgie de *Damage control* (CDC)

En 1983, Stone et al. publiaient la première observation de laparotomie abrégée intentionnelle [13]. La coagulopathie n'était pas connue comme actuellement, mais la gravité de sa survenue était bien comprise, ainsi que la nécessité de pratiquer les gestes

d'hémostase rapidement. En 1993, Rotondo et al. formalisaient le principe de la laparotomie abrégée dans une étude rétrospective de 46 patients, avec 22 survivants parmi les plus sérieusement blessés (blessures vasculaires et viscérales multiples) [14]. La description originale de la laparotomie de *Damage control* se compose de trois phases :

1. Dans la salle d'opération, effectuer de brèves mesures chirurgicales chez un patient avec hémorragie sévère et hémodynamique instable malgré la prise en charge médicale : geste d'hémostase, voire utilisation de packing, suture des fuites gastro-intestinales. La coagulopathie est en cours d'installation. L'intervention doit être rapide, sans essayer d'assurer la réparation complète en une étape.

2. En réanimation, éviter la triade létale : lutte contre l'hypothermie, l'acidose, la coagulopathie. La stratégie de transfusion est la pierre angulaire hospitalière [15].

3. Reprise au bloc opératoire, après 24 à 72 heures de stabilisation, pour ablation des tamponnements et anastomoses intestinales, réparation vasculaire définitive, fermeture définitive de l'abdomen. La CDC a été extrapolée pour contrôler l'hémorragie thoracique, cardiaque, traumatique, urologique, orthopédique, et par lésion vasculaire. Les indications de CDC sont sujettes à débat [16]. Il est toutefois admis que le DC ne concerne qu'une minorité de blessés, qu'ils soient civils ou militaires, et n'est pas la méthode de référence de la prise en charge de tous les traumatisés graves. Il est aussi admis qu'un blessé en choc hémorragique et qui saigne activement doit bénéficier immédiatement du principe de DC, c'est-à-dire à la fois du geste d'hémostase indispensable et du contrôle de la coagulopathie. La CDC est discutée en détail dans la littérature chirurgicale, et ne sera plus présentée ici, afin de se concentrer sur l'appropriation du concept par des équipes de réanimation hospitalière et pré-hospitalière.

2.2.2. Extension hospitalière du principe de *Damage control* en réanimation

La Réanimation de *Damage control* (RDC) recherche l'optimisation physiologique rapide pour améliorer la survie. Duchesne et al. ont récemment rapporté des résultats améliorés en ajoutant la RDC à la CDC (74 % avec RDC contre 55 % sans) [17]. En dépit de tels travaux, la nature de la stratégie de réanimation optimale demeure controversée et stimule de vigoureuses discussions. Les objectifs principaux immédiats sont réchauffer, corriger le pH et les paramètres de coagulation. Après la chirurgie initiale, les objectifs en réanimation sont plus exigeants : réduction des amines, stabilisation ventilatoire (pression de plateau < 30 cm H_2O), maitrise de la pression intra-abdominale. Mais c'est surtout la stratégie de transfusion qui est spécifique.

Rapport PFC/CGR

Une mortalité réduite a été rapportée aux États-Unis d'Amérique lors d'un choc hémorragique traumatique en utilisant des proportions plus élevées de plasma frais

congelé (PFC) transfusé par rapport aux culots de globules rouges (CGR). Une analyse rétrospective des patients traumatisés, ayant besoin de chirurgie et de transfusion massive, a comparé le taux de décès des ratios PFC /CGR de ¼ et 1/1 : 87 % vs 26 %. Holcomb et al., chez des patients avec transfusion massive de 16 trauma centers, trouvaient qu'un rapport de PFC/CGR de ½ ou plus (n = 252), comparé aux ratios inférieurs (n =214), était associé à une survie améliorée à 30 jours (60 % avec le rapport élevé contre 40 % avec bas rapport) [18]. Une méta-analyse rapportait en 2012 une réduction de mortalité avec un ratio PFC/CGR élevé [19]. Ces conclusions ont été d'emblée remises en cause, car pouvant être liées à un biais de survie [20]. Mais récemment, une étude multicentrique a été conçue pour réduire au minimum l'effet du biais de survie [21]. Le résultat principal était que l'apport, dans les 6 heures après l'admission, de plasma et de CGR avec un ratio élevé s'associait à une diminution de la mortalité : les patients présentant des rapports plus bas que le 1/2 étaient 3 à 4 fois plus susceptibles de mourir que les patients présentant des rapports de 1/1 ou supérieurs. De plus, du sang total a été employé en milieu militaire, où des cohortes de donneurs de sang précédemment groupés et virologiquement examinés peuvent être mobilisés à brève échéance. Une analyse rétrospective de 500 patients nécessitant une transfusion massive indiquait que, comparativement à l'apport classique de PFC et CGR, l'utilisation de sang total était indépendamment associée à une amélioration de la survie à 48 heures et à 30 jours [22]. Une étude complémentaire est en cours (www.clingovtrial.com/NCT01227005).

Calcium

Le citrate, présent dans les CGR, diminue la concentration en calcium, participant de la coagulopathie. L'administration de PFC peut également diminuer le niveau de calcium ionisé, par suite de l'attache des ions calcium aux sites anioniques des protéines du plasma. Souvent du calcium est administré de manière empirique durant les transfusions massives, mais une recharge rationnelle en calcium peut être basée sur la mesure directe du calcium ionisé.

Facteur VII activé

Bien que coûteux, le facteur VIIa a été agressivement utilisé par les équipes médicales des USA en opération extérieure. Au-delà des exemples de succès anecdotiques, un essai randomisé a été arrêté (573 patients sur 1502 prévus) pour futilité [23].

Acide tranéxamique

L'étude CRASH-2, randomisée et multicentrique, incluant 20211 patients adultes traumatisés en choc hémorragique, a examiné l'effet de l'acide tranéxamique sur la mortalité et les transfusions [24]. L'administration de l'acide tranéxamique a diminué

la mortalité globale (RR = 0,9 ; IC 95 % : 0.85-0.97) et aussi la mortalité par saignement (RR = 0,85 ; IC 95% : 0.76-0.96). L'analyse complète des données prouvait que l'effet bénéfique s'exprimait uniquement dans les trois premières heures après l'événement traumatisant.

De façon générale, en une décennie, le DC a convaincu non seulement les chirurgiens mais également les réanimateurs, et le concept s'est cristallisé dans des procédures partagées, associant l'ensemble des équipes hospitalières. Puis, les pratiques pré-hospitalières ont été remises en cause par le concept de DC.

3. Extension du concept de damage control en pré-hospitalier

3.1 Principes

L'analyse des données épidémiologiques de grands centres de traumatologie civils indique que la moitié des décès se produisent avant arrivée dans un hôpital, principalement par saignement massif [25]. Et l'hémorragie est toujours la principale cause de mort évitable au combat. Le concept de DC a évolué vers la phase pré-hospitalière [26]. Les principes du DC « ground zero » sont le contrôle immédiat des lésions potentiellement mortelles accessibles à une prise en charge rapide sur le terrain (par exemple, pneumothorax sous tension, saignement externe), le transport rapide vers l'hôpital et, pour la plupart des auteurs, la phase d'admission à l'hôpital avec la prise de décision d'une stratégie globale de DC. Il est difficile de déterminer l'impact direct de ces nouvelles stratégies sur l'évolution de la survie après blessure au combat, mais une amélioration est observée [27].

3.2 Méthodes d'hémostase externe

3.2.1 Garrot

Deux progrès majeurs sont intervenus ces dix dernières années. Un progrès technique patent est apparu avec le remplacement du garrot de toile blanche à pince utilisé dans tous les conflits du XXe siècle jusqu'à récemment ; ce garrot était quasiment impossible à poser d'une seule main et le système d'accrochage sans sécurité de serrage échouait le plus souvent sur les grosses cuisses hémorragiques. Des dispositifs l'ont remplacé avantageusement, comme le SOFTT™ (*Special Operation Forces Tactical Tourniquet ; Tactical Medical Solutions*, Anderson, USA), permettant une pose plus commode d'une seule main, une compression graduelle grâce à un véritable dispositif tourniquet et une fixation de celui-ci, sécurisée par une vis de serrage.

Un progrès conceptuel est intervenu également, car la pose d'un garrot artériel a toujours été critiquée, ce qui n'a pas contribué à rationaliser son usage. Les réserves les plus fréquentes ont concerné son utilisation abusive, et les complications

ischémiques et neurologiques associées. Convaincus que cette morbidité compte peu devant la mortalité induite quand un garrot n'était pas posé, tous les médecins militaires recommandent actuellement un usage libéral de ce dispositif, mais uniquement dans une utilisation dite « tactique » : un garrot est posé devant toute hémorragie non contrôlable d'une extrémité survenant en zone de danger et une fois à l'abri, il est jugé de la pertinence de convertir ce garrot de sauvetage en pansement compressif et hémostatique. Le temps raisonnable de conversion va jusqu'à deux heures. Deux études de terrain nous confortent dans cette stratégie. Une étude rétrospective israélienne a porté sur 91 garrots posés « sous le feu » : 80 % avec succès quel que soit l'opérateur, 17 ont été convertis entre 5 et 100 minutes, en moyenne 40 minutes, treize avec succès dont sept ont eu une séquelle neurologique périphérique [28]. Dans une étude prospective américaine de sept mois à Bagdad, 428 garrots ont été posés chez 232 blessés ; ces garrots ont été serrés avec 80 % de succès quel que soit l'opérateur, pour une durée moyenne de 80 min ; ni amputation, ni insuffisance rénale, ni complication neurologique n'ont été à rapporter au garrot ; en revanche l'incidence des indications de fasciotomies a augmenté avec le temps de pose, respectivement 28 et 38 % pour des temps de garrot inférieur ou supérieur à deux heures [29].

3.2.2 Pansement hémostatique

Survenant dans des zones non accessibles au garrot, ou non couvertes par les vêtements de protection, certaines blessures délabrantes de la face, du cou, du tronc et des aines, en particulier par lésions projectilaires après explosion, nécessitent d'autres moyens de compression et d'hémostase. Il est admis qu'un pansement compressif standard ne permet que 50 à 60 % de survie à la 1ère heure d'une hémorragie expérimentale.

Le *Dry Fibrin Sealant Dressing* (American Red Cross, Holland Lab., Rockville, USA), fait référence car efficace dans la majorité des études [30]. Il se présente comme une feuille de 10 cm² composée d'une couche de thrombine, de CaCl2 et de facteur XIII sur un support de polygalactine résorbable entre deux couches de fibrinogène qui ainsi peut se polymériser en fibrine, mais il est beaucoup trop coûteux. Le Chitosan Dressing° (HemCon Inc., Portland, USA) se présente comme une plaque semi-rigide de 10 cm² de chitosan (polysaccharide biodégradable, produit par D-acétylation de la chitine d'animaux marins) dont une seule face est hémostatique. L'action hémostatique est expliquée par une forte adhérence muco-tissulaire quand il est hydraté au contact du sang, avec activation plaquettaire et agglutination des globules rouges. Efficace dans les hémorragies à bas débit, il a été mis en échec expérimentalement plus d'une fois sur deux dans les modèles à haute pression et mixte, avec reprise du saignement et un effet du « tout ou rien » (lié peut être à sa structure semi-rigide mal adaptée aux surfaces irrégulières). Néanmoins, comme d'ailleurs le fibrinogène au début, il a été largement distribué en Irak et en Afghanistan pour le *Combat damage control*, avec un excellent résultat clinique de terrain pour les hémorragies persistantes (97 % de

succès clinique, dans 66 % des cas après un pansement compressif standard, sans aucun effet adverse) [31]. Le *QuikClot*® et le *QuikClot Advanced Clotting Sponge +* (Z-Medica, Wallingford, USA), sous une présentation différente, ont le même principe d'action lié à un zéolithe en poudre microgranulaire, non biodégradable, composé de silice, d'alumine, de sodium, de calcium, d'une humidité relative de 1 %, qui au contact du sang provoque une brutale adsorption d'eau (réaction exothermique mesurée in vivo entre 40° et 45°C) et une concentration de plaquettes, de globules rouges, et de facteurs de coagulation au site. Leur efficacité est habituelle dans les modèles veineux et mixtes, mais ils sont mis en échec dans les hémorragies à haute pression. Le *QuikClot ACS+*®, sachet de gaze à quatre compartiments, peut être appliqué facilement dans une cavité et la réaction exothermique reste limitée [32]. Il est peu coûteux (15 € le sachet). Le *QuikClot Combat Gauze* (Z-Medica, Wallingford, USA) est un pansement prometteur [33], présenté sous forme d'une bande de 3,5 m sur 7,5 cm imprégnée de kaolin, s'adaptant aux grandes surfaces, peu coûteux. Le *WoundStat* (North American Rescue Inc., Greenville, USA) est une autre poudre hémostatique non biodégradable à disperser, constituée d'une combinaison granulaire de smectite minérale et d'un polymère, qui serait plus efficace en cas de saignement à haute pression, mais aussi sans doute plus agressif pour les vaisseaux [34]. Le *Celox* (SAM Medical, Newport, USA) se présente sous forme de granules de chitosan et semble aussi plus opérant que les premiers pansements hémostatiques dans les hémorragies artérielles [35]. Il n'existe donc pas encore d'agent idéal, mais des produits qui sont plus efficaces qu'un pansement compressif standard. Remarquons que le temps de compression qui était recommandé avec les pansements hémostatiques de première génération se réduit peu à peu. Légers, prêts à l'emploi, résistants au froid (- 10°C) et à la chaleur (+ 55°C), à longue péremption (> 2 ans), simples et sans grand effet adverse, la plupart sont utiles à bas coût.

3.3 Contrôle de l'hypothermie

Lors d'un traumatisme grave, l'hypothermie (<32°C) est un facteur indépendant de mortalité [36]. L'hypothermie à l'admission hospitalière a été identifiée, en milieu militaire, cause de mortalité, et des efforts ont été faits pour prévenir l'hypothermie dès l'avant en réduisant au minimum l'exposition, en contrôlant rapidement un saignement externe, par utilisation de couvertures chauffantes et de réchauffeurs de perfusion portatifs. L'expérience américaine en opérations extérieures a montré qu'en se donnant ces moyens dès la phase pré-hospitalière, moins de 1 % des blessés sont hypothermes à l'arrivée à l'hôpital médico-chirurgical [37].

3.4. Stratégie de remplissage

L'hypotension permissive vise à ne pas encourager le saignement avant hémostase chirurgicale efficace, éviter le remplissage par de grandes quantités de cristalloïdes causant dilution des facteurs de coagulation, acidose hyperchlorémique, œdème cellulaire et activation de neutrophiles. Dans une étude multicentrique de patients

brûlés, l'administration excessive de fluides (au-delà de 25 %) a augmenté la survenue de syndrome de détresse respiratoire aiguë (odds ratio [OR] 1,7), de pneumonie (OR 5,7), de défaillance multiviscérale (OR 1,6), de septicémie (OR 2,9), et de décès (OR 5,3) [38]. De plus, le remplissage agressif par cristalloïde diminue la survie et augmente les possibilités de développer un syndrome compartimental abdominal chez ces patients [39]. Une étude sur traumatisme thoracique pénétrant, exceptionnellement prospective, a montré une plus mauvaise survie pour les patients remplis avant que le contrôle vasculaire ait été obtenu en salle d'opération (réduction de 8 % de la mortalité absolue pour les patients recevant le remplissage après hémostase au bloc), bien qu'une analyse de sous-groupe ait montré que cet effet fût significatif seulement chez ceux avec tamponnade péricardique [40]. Une étude civile récente, concernant des patients avec lésion pénétrante du tronc ayant bénéficié de CDC, a rétrospectivement évalué l'impact de la réanimation à petit volume, et a retrouvé une survie peropératoire augmentée [41]. Une manière de réduire la quantité de fluide administrée au cours de la réanimation de chocs hémorragiques pourrait être l'usage de sérum salé hypertonique (SSH), qui par ailleurs peut potentiellement moduler favorablement la réponse immunitaire en atténuant la réponse immunitaire à médiation cellulaire. Mais une étude récente multicentrique, randomisée, pré-hospitalière, a comparé pour le choc hémorragique trois groupes : SSH/dextran, serum physiologique, SSH. Les patients remplis par SSH ont eu la mortalité plus élevée [42].

Le concept d'hypotension permissive représente une épée à double tranchant, puisqu'une durée prolongée de choc peut aggraver l'ampleur de la coagulopathie traumatique [43]. Des études randomisées anciennes n'ont pas rapporté de diminution de mortalité en retardant le remplissage ou en tolérant une pression artérielle systolique (PAS) basse [44]. En pratique pour les patients toujours hémorragiques, l'objectif pré-hospitalier de PAS est de 90 mmHg (à l'exception des patients avec une lésion cérébrale associée, l'objectif clef étant alors de maintenir une perfusion cérébrale).

Un certain nombre d'études ont validé qu'au-delà de 1 500 mL de remplissage, un vasopresseur tel que la noradrénaline devait être associé. Cependant, une étude de cohorte multicentrique récente a retrouvé que l'utilisation précoce de vasopresseur était indépendamment associée à une augmentation de la mortalité [45]. Allant plus loin, en contraste avec les pratiques admises, quelques auteurs recommandent que les vasopresseurs soient évités à la phase la plus précoce du choc hémorragique [46].

3.5. Stratégie transfusionnelle pré-hospitalière

La coagulopathie s'installe rapidement après traumatisme et nécessite une correction immédiate, avant de devenir inaccessible à nos ressources thérapeutiques. Si la transfusion de CGR peut être effectuée en contexte pré-hospitalier, le plasma frais congelé n'est pas adapté, plus encore sur le champ de bataille : conditions de conservation exigeantes, nécessité d'une phase de décongélation avant utilisation,

fragilité des poches. Aussi, il semble attrayant d'employer du Plasma cryodesséché sécurisé (PCDS) sur le terrain [47]. En effet, le PCDS présente des avantages : stockage à température ambiante, longue durée de conservation, temps de préparation rapide (5 min.), universalité d'ABO [48]. Ces avantages potentiels apparaissent encore plus flagrants en OPEX, et pourraient participer de la lutte contre l'installation de la coagulopathie. L'expérience récente des équipes médicales de l'OTAN met en exergue l'importance d'une stratégie transfusionnelle associant CGR et plasma, avec de hauts ratios CGR/plasma. Nous croyons ces données de terrain suffisantes pour soutenir la réalisation d'études cliniques étudiant, pour les chocs hémorragiques, l'administration pré-hospitalière de PCDS [49,50]. Des études prospectives sont en cours en traumatologie militaire avec les forces d'opérations spéciales des USA. En traumatologie civile, les praticiens du SAMU 75, du Bataillon des marins-pompiers de Marseille, du SAMU 13 et de la Brigade des sapeurs-pompiers de Paris se réunissent pour forger une étude prospective randomisée.

4. Conclusion

Une meilleure compréhension de la coagulopathie traumatique et des données cliniques, volontiers de source militaire, a singulièrement modifié les pratiques de réanimation des hémorragies sévères. Au cours de la dernière décennie, les pratiques ont migré vers la chirurgie, puis la réanimation de DC, afin de lutter de manière synergique contre la triade létale : coagulopathie, acidose, hypothermie. Le concept de DC, initialement strictement limité à l'hôpital, a trouvé une extension enthousiaste en médecine d'urgence pré-hospitalière. Et l'expérience acquise par des médecins dans les théâtres de guerre auprès de blessés au combat par explosion, faisant écho aux pratiques civiles en traumatologie, a participé à forger une doctrine au DC pré-hospitalier, créant un *continuum* de soin.

D'une part, il est fondamental que les praticiens civils et militaires continuent à partager leur expérience en traumatologie, et participent à la diffusion des bonnes pratiques tout au long de la chaine de prise en charge. D'autre part, l'analyse des données de terrain, à la recherche de marge de progrès, est une nécessité impérieuse. Enfin, des recherches cliniques prospectives multicentriques doivent être menées pour affiner, perfectionner et sérier les indications avec un haut niveau de preuve.

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de la leçon de 24 heures (par ordre alphabéique) : Audrey Cirodde, Nicolas Donat, Emma Forsans, Laetitia Franck, Patrick Jault, Nicolas Libert, Stéphane Mérat, Pierre Pasquier, Guillaume Pelée de Saint Maurice, Karim Tazarourte.

Références bibliographiques

[1] Peake JB. Beyond the Purple Heart-continuity of care for the wounded in Iraq. New Engl J Med 2005; 352:219-22.

[2] Wolf SJ, Bebarta VS, Bonnett CJ, et al. Blast injuries. Lancet 2009;374:405-15.

[3] Depalma RG, Burris DG, Champion HR, et al. Blast injuries. N Engl J Med 2005;352:1335-42.

[4] Zuckerman S. Experimental study of blast injuries to the lung. Lancet 1940;256:219-23.

[5] Ramasamy A, Harrisson SE, Clasper JC, et al. Injuries from roadside improvised explosive devices. J Trauma 2008;65:910-4.

[6] Mayorga MA. The pathology of primary blast overpressure injury. Toxicology 1997;121:17-28.

[7] Mellor SG. The pathogenesis of blast injury and its management. Br J Hosp Med 1988;39:536-9.

[8] Jaffin JH, McKinney L, Kinney RC, et al. A laboratory model for studying blast overpressure injury. J Trauma 1987;27 :349-56.

[9] Hill JF. Blast injury with particular reference to recent terrorist bombing incidents. Ann R Coll Surg Engl 1979;61:4-11.

[10] Hull JB, Cooper GJ. Pattern and mechanism of traumatic amputation by explosive blast. J Trauma 1996;40 (3 Suppl):S198-205.

[11] Belmont PJ Jr, Goodman GP, Zacchilli M et al. Incidence and epidemiology of combat injuries sustained during "the surge" portion of operation Iraqi Freedom by a U.S. Army brigade combat team. J Trauma. 2010;68:204-10.

[12] Champion HR, Bellamy RF, Roberts CP, Leppaniemi A. A profile of combat injury. J Trauma 2003 ; 54(5 Suppl):S13-9.

[13] Stone HH, Strom PR, Mullins RJ. Management of the major coagulopathy with onset during laparotomy. Ann Surg 1983; 197: 532-5.

[14] Rotondo MF, SchwabW, McGonigal MD, Philips GR, Fruchterman TM, Kauder DR, et al. Damage control: an approach for improved survival in exsanguinating penetrating abdominal injury. J Trauma 1993;35:375-83.

[15] Beekley AC. Damage control resuscitation: a sensible approach to the exsanguinating surgical patient. Crit Care Med. 2008;36(7 Suppl):S267-74.

[16] Asensio JA, McDuffie L, Petrone P, Roldan G, Forno W, Gambaro E et al. Reliable variables in the exsanguinated patient which indicate damage control and predict outcome. Am J Surg 2001;182:743-51.

[17] Duchesne JC, Kimonis K, Marr AB, Renniie KV, Wahl G, Wells JE, et al. Damage control resuscitation in combination with damage control laparotomy: a survival advantage. J Trauma 2010; 69: 46-52.

[18] Holcomb JB, Wade CE, Michalek JE, et al. Increased plasma and platelet to red blood cell ratios improves outcome in 466 massively transfused civilian trauma patients. Ann Surg 2008;248:447-58.
[19] Johansson PI, Oliveri R, Ostrowski SR. Hemostatic resuscitation with plasma and platelets in trauma: A meta-analysis. J Emerg Trauma Shock 2012, 5:120-5.
[20] Ho AM, Dion PW, Yeung JH, et al. Simulation of survivorship bias in observational studies on plasma to red blood cell ratios in massive transfusion for trauma. Br J Surg. 2012 ;99(Suppl 1):132-9.
[21] Holcomb JB, del Junco DJ, Fox EE, et al. The prospective, observational, multicenter, major trauma transfusion (PROMMTT) study: comparative effectiveness of a time-varying treatment with competing risks. JAMA Surg. 2013;148(2):127-36.
[22] Johnson JW, Gracias VH, Schwab CW, et al. Evolution in damage control for exsanguinating penetrating abdominal injury. J Trauma 2001;51:261-9.
[23] Hauser CJ, Boffard K, Dutton R, et al. Results of the CONTROL trial: efficacy and safety of recombinant activated factor VII in the management of refractory traumatic hemorrhage. J Trauma 2010;69:489-500.
[24] Shakur H, Roberts R, Bautista R, et al. Effects of tranexamic acid on death, vascular occlusive events, and blood transfusion in trauma patients with significant haemorrhage (CRASH-2): a randomised, placebo-controlled trial. Lancet 2010;376:23-32.
[25] Acosta JA, Yang JC, Winchell RJ, et al. Lethal injuries and time to death in a level I trauma center. J Am Coll Surg 1998;186:528-33.
[26] Johnson JW, Gracias VH, Schwab CW, et al. Evolution in damage control for exsanguinating penetrating abdominal injury. J Trauma 2001;51:261-9.
[27] Gwande A. Casualties of war-Military care for the wounded from Iraq and Afghanistan. N Engl J Med 2004;351:2471-5.
[28] Lakstein D, Blumendelf A, Sokolov T, et al. Tourniquets for hemorrhage control on the battlefield: A 4-year accumulated experience. J Trauma 2003; 54(Suppl): S221-5.
[29] Kragh JF, Walters TJ, Baer DG, et al. Practical use of emergency tourniquets to stop bleeding in major limb trauma. J Trauma 2008; 64(Suppl): S38-50.
[30] Acheson EM, Kheirabadi BS, Deguzman R, et al. Comparison of hemorrhage control agents applied to lethal extremity arterial hemorrhages in swine. J Trauma 2005; 59: 865-5.
[31] Wedmore I, McManus JG, Pusateri AE, et al. A special report on the chitosan-based hemostatic dressing: experience in current combat operations. J Trauma 2006;60: 655-8.
[32] Ahuja N, Ostsmel TA, Rhee P, et al. Testing of modified zeolithe hemostatic dressings in a large animal model of lethal groin injury. J Trauma 2006; 61:1312-20.

[33] Arnaud F, Teranishi K, Tomori T, et al. Comparison of 10 hemostatic dressings in a groin puncture model in swine. J Vasc Surg 2009; 50:632-9.
[34] Ward KR, Hakam Tiba M, Holbert WH, et al. Comparison of a new hemostatic agent to current combat hemostatic agents in a swine model of lethal extremity arterial hemorrhage. J Trauma 2007; 63: 276-84.
[35] Kozen BG, Kircher SJ, Henao J, et al. An alternative hemostatic dressing: Comparison of CELOX, HemCon, and QuikClot. Acad Emerg Med 2008; 15: 74-81.
[36] Wang HE, Callaway CW, Peitzman AB, Tisherman SA. Admission hypothermia and outcome after major trauma. Crit Care Med 2005; 33:1296-301.
[37] Beekley AC., Sebesta JA, Blackbourne LH, et al. Prehospital tourniquet use in Operation Iraqi Freedom: effect on hemorrhage control and outcomes. J Trauma 2008; 64:S28-S37.
[38] O'Mara MS, Slater H, Goldfarb IW, Caushaj PF.A prospective, randomized evaluation of intra-abdominal pressures with crystalloid and colloid resuscitation in burn patients. J Trauma 2005;58:1011-8.
[39] Klein MB, Hayden D, Elson C, et al. The association between fluid administration and outcome following major burn: A multicenter study. Ann Surg 2007;245:622-8.
[40] Bickell WH, Wall MJ, Pepe PE, et al. Immediate versus delayed fluid resuscitation for hypotensive patients with penetrating torso injuries. N Engl J Med1994; 331: 1105-09.
[41] Duke MD, Guidry C, Guice J, et al. Restrictive fluid resuscitation in combination with damage control resuscitation: time for adaptation. J Trauma Acute Care Surg 2012;73:674-8.
[42] Bulger EM, May S, Kerby JD, et al; ROC Investigators. Out-of-hospital hypertonic resuscitation after traumatic hypovolemic shock: a randomized, placebo controlled trial. Ann Surg 2011;253:431-41.
[43] Skarda DE, Mulier KE, George ME, Beilman GJ. Eight hours of hypotensive versus normotensive resuscitation in a porcine model of controlled hemorrhagic shock. Acad Emerg Med 2008;15:845-52.
[44] Kwan I, Bunn F, Roberts I. Timing and volume of fluid administration for patients with bleeding. Coch Database Syst Rev 2003;CD002245.
[45] Alam HB, Velmahos GC. New Trends in Resuscitation. Curr Probl Surg 2011; 48:531-64.
[46] Sperry JL, Minei JP, Frankel HL, et al. Early use of vasopressors after injury: caution before constriction. J Trauma 2008;64:9-14.
[47] Gonzalez EA, Moore FA, Holcomb JB, et al. Fresh frozen plasma should be given earlier to patients requiring massive transfusion. J Trauma 2007;62:112-9.
[48] Martinaud C, Civadier C, Ausset S, et al. In vitro hemostatic properties of French lyophilized plasma. Anesthesiology 2012;117:339-46.

[49] Martinaud C, Ausset S, Deshayes AV, et al. Use of freeze-dried plasma in French intensive care unit in Afghanistan. J Trauma. 2011;71:1761-4.

[50] Shuja F, Finkelstein RA, Fukudome E, et al. Development and testing of low-volume hyperosmotic spray-dried plasma for the treatment of trauma associated coagulopathy. J Trauma. 2011;70:664-71.

Chaire de chirurgie appliquée aux armées

Chirurgie orthopédique

Place actuelle et perspectives de l'arthroscopie dans la chirurgie de l'épaule

Jean-François Gonzalez

1. Introduction

L'arthroscopie a connu un essor exceptionnel depuis sa création permettant de visualiser l'intérieur d'articulations sans les traumatiser. Elle a bénéficié de l'ingéniosité des chirurgiens qui avaient la volonté d'être le moins agressif possible sur une articulation. L'amélioration des techniques a permis de réaliser de véritables interventions thérapeutiques. Capable d'obtenir les mêmes résultats à long terme, elle est devenue la référence dans certaines indications. Ses capacités d'enseignement par la visualisation des images et des films en ont fait désormais un outil pédagogique indispensable à l'enseignement de la chirurgie orthopédique et à la communication avec le patient.

C'est en 1806 que Philip Bozzini a imaginé et réalisé le premier endoscope, avec une bougie en guise de lumière froide. Le développement et la mise au point de l'arthroscopie sont issus de l'école japonaise de chirurgie orthopédique. Takagi, en 1918, a réalisé la première arthroscopie de genou sur cadavre. C'est à son élève Watanabe que nous devons les améliorations techniques qui permirent dès 1958 avec l'arthroscope n°21, la diffusion de l'arthroscopie.

Une anatomie arthroscopique de l'épaule a été publiée dès 1931 par Burman [1]. Il faudra ensuite attendre 1985 pour qu'une première série d'arthroscopies d'épaule soit publiée par Andrews [2].

Les données nationales de la Sécurité sociale nous informent qu'en l'espace de cinq ans, entre 2005 et 2010, le nombre d'arthroscopies de l'épaule réalisé en France a doublé, passant d'environ 50 000 à 100 000 par an (tableau 1). Les axes de développement concernent essentiellement les deux principaux cadres nosologiques de la pathologie de l'épaule : les instabilités et les tendinopathies de la coiffe des rotateurs.

Ceci illustre à quel point la chirurgie arthroscopique de l'épaule est un sujet d'actualité.

L'arthroscopie permet de voir dans l'articulation mais surtout d'opérer dans celle-ci. L'arthroscopie en chirurgie orthopédique permet également d'opérer en zone périarticulaire. L'arthroscopie est définie désormais par la réalisation d'actes chirurgicaux dans et autour d'une articulation, d'une manière vidéo-assistée, grâce à l'introduction d'un endoscope et d'instruments miniaturisés.

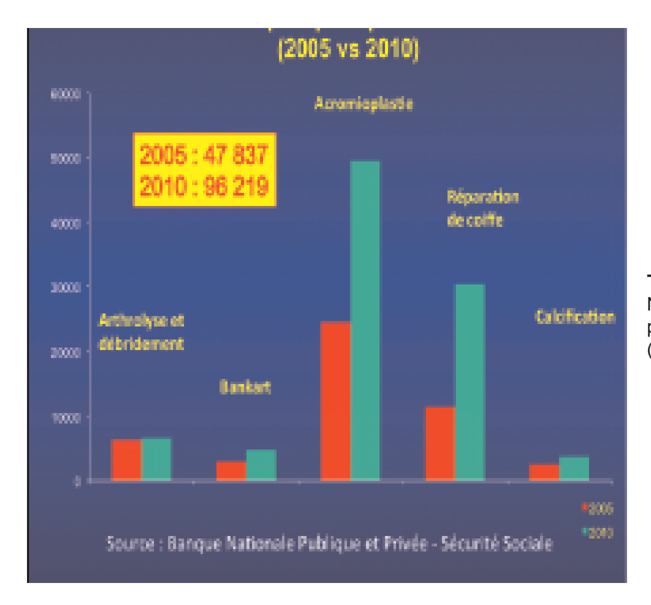


Tableau 1.
Nombre d'arthroscopies pratiquées en France (2005 vs 2010).

L'arthroscopie doit être considérée comme une voie d'abord ; elle ne constitue plus une intervention en soi, en particulier au niveau de l'épaule.

L'épaule est constituée de trois articulations et de deux zones de glissement : les articulations sterno-claviculaire (SC), acromio-claviculaire (AC) et gléno-humérale (GH), ainsi que les zones de glissement scapulo-thoracique (ST) et acromio-humérale (AH). À l'exception de l'articulation SC, elles sont toutes concernées par les techniques vidéo-assistées.

Si les premières séries de chirurgie arthroscopique de l'épaule sont apparues au milieu des années 80, c'est à travers le prisme de l'évolution de cette chirurgie durant les 30 dernières années que les raisons de l'essor de cette chirurgie sont mieux appréhendées. Seront alors précisées la place actuelle et les perspectives de l'arthroscopie dans la chirurgie de l'épaule.

2. Trente années de développement

Durant ces 30 années, l'arthroscopie a permis de voir l'anatomie de façon différente, de faire de nouveaux diagnostics, et a apporté des avantages techniques incontestables.

C'est en tenant compte de toutes ces avancées qu'il faut comprendre sa place actuelle.

L'arthroscopie permet d'abord une exploration endo-articulaire. On peut parler d'anatomie arthroscopique. On explore de plus le compartiment extra-articulaire par les bursoscopies associées. Elle combine alors les possibilités de l'examen direct et dynamique de lésions jusque-là inconnues ou ignorées.

L'arthroscopie de l'épaule a modifié la vision de l'anatomie intra-articulaire. Elle permet de voir une articulation de l'intérieur sur 360° et d'en comprendre son fonctionnement en direct. La vision débute classiquement par la voie postérieure au niveau du *soft point*, elle est complétée par la palpation des éléments à l'aide d'un instrument fin, le crochet palpeur, introduit par une voie atraumatique au sein de l'intervalle des rotateurs,. En inversant les voies, on peut alors objectiver les structures postérieures.

Cette vision arthroscopique a permis de comprendre certaines particularités de l'anatomie statique de l'articulation GH, comme le complexe capsulo-labro-bicipital, les variations anatomiques du labrum, ou les ligaments glénohuméraux inférieur et supérieur (LGHI, LGHS).

Les variations anatomiques du labrum ont intéressé de nombreux auteurs : Detrisac et Johnson [3] ont décrit cinq types d'aspects normaux du labrum antéro-supérieur mais aussi Williams, Snyder, et Buford ont décrit les variations des rapports entre le labrum à sa partie moyenne et le LGH moyen[4].

Les LGH sont au nombre de trois : supérieur, moyen et inférieur. C'est l'arthroscopie qui a montré leur importance car ils sont apparus alors plus individualisés de la capsule et structurés à la face profonde de l'articulation [5]. Morgan et Snyder ont décrit à partir d'une étude arthroscopique cadavérique les variations anatomiques de ces ligaments [6].

L'anatomie fonctionnelle ou dynamique est apparue plus évidente car aucune structure n'est sectionnée pour observer le comportement de chaque élément dans le mouvement. C'est le cas du rôle mécanique de la bande postérieure du LGHI ou le fonctionnement de la coulisse bicipitale.

L'arthroscopie a permis aussi de préciser les connaissances dans le domaine diagnostique faisant faire un bond considérable dans la prise en charge des pathologies de l'épaule.

L'arthroscopie a participé au démembrement des lésions de la coiffe des rotateurs. Même si la vision arthroscopique tend à déformer l'étendue des lésions voire à la surestimer, elle a contribué à la graduation de ces lésions [7], qui est l' élément prédictif le plus important du résultat anatomique et fonctionnel du résultat des réparations. L'imagerie est l'élément central du diagnostic lésionnel de la coiffe des rotateurs mais l'arthroscopie reste le dernier temps d'évaluation de la profondeur d'une rupture partielle de la face profonde de la coiffe supérieure. Elle permet d'affirmer les lésions partielles seulement visibles en intra-articulaire de la partie la plus haute du tendon du muscle sub-scapulaire [8].

L'arthroscopie de l'épaule a également généré de nouveaux diagnostics. Gerber a décrit en 2000 le conflit antéro-supérieur éponyme [9]. Il s'agit d'un conflit entre le tendon du muscle sub-scapulaire et le bord antérieur de la glène. Le conflit postéro-supérieur, décrit par Walch en 1991 [10] est parfaitement visualisé en arthroscopie et le diagnostic ainsi confirmé par mobilisation de l'épaule en abduction et rotation

externe. Cette pathologie est l'apanage des lanceurs, des volleyeurs et des tennismen. On doit à l'arthroscopie la compréhension de la richesse de la pathologie du tendon de la longue portion du biceps (LPB). Boileau a décrit en 2004 le « biceps en sablier » qui est une hypertrophie de la portion intra-articulaire de la LPB [11]. Cette hypertrophie est la cause d'un blocage du biceps dans sa coulisse particulièrement visible en arthroscopie lors de l'élévation antérieure. Elle est source de douleur et de limitation de l'élévation antérieure passive. La vision intra-articulaire permet le diagnostic de fissuration du tendon de la LPB, de prérupture ; elle permet également de visualiser la portion dans la gouttière par mobilisation du fragment intra-articulaire. L'examen dynamique de l'épaule en arthroscopie permet de comprendre la pathologie de l'instabilité de la LPB, source de douleur. On visualise la lésion du LGHS, constituant la poulie bicipitale avec le ligament coraco-huméral, et la luxation du tendon hors de sa gouttière par le « swinging test ». Lors de ce test, il faut pratiquer une rotation interne puis externe qui permet de visualiser le comportement du biceps et sa stabilité dans la gouttière.

Snyder a décrit en 1990 la pathologie de l'ancrage à partir de ses constatations arthroscopiques. Il s'agit de lésions du complexe labro-bicipital ou « SLAP lesions » (*Superior Labrum Anterior and Posterior Lesions*) [12].

Dans le domaine de l'instabilité, l'arthroscopie permet le dépistage de certaines lésions du labrum de petite taille ou son caractère multidirectionnel : antérieur, postérieur et inférieur. L'encoche de Malgaigne ou de Hill-Sachs est une lésion bien connue comme témoin de passage dans la luxation antérieure GH. L'arthroscopie a permis de visualiser parfaitement le caractère engageant ou non de ces encoches (figure 1). Elle a inspiré les techniques de comblement décrites et connues pour les encoches antérieures dites de Mac Laughlin : ce sont les techniques d' « Hill-Sacks remplissage » décrites par Wolf [13].

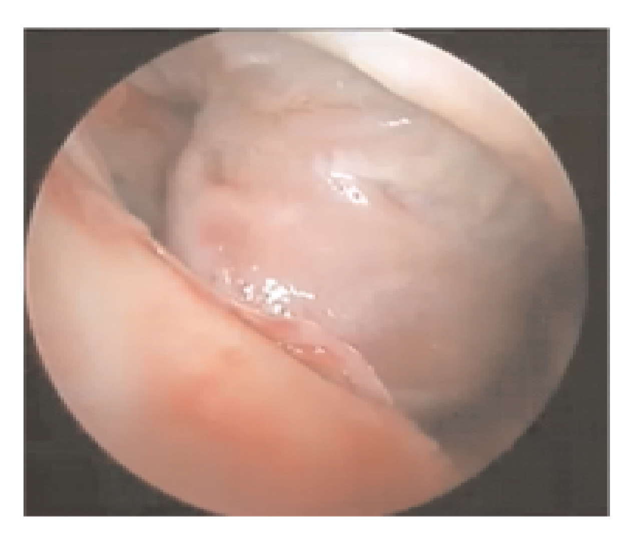


Figure 1.
Encoche engageante lors d'une arthroscopie à l'air.

Trente ans d'évolution de l'arthroscopie nous ont montré que cette technique est avantageuse à plusieurs égards.

L'arthroscopie s'est développée car elle a réussi le passage du stade de nouvelles capacités diagnostiques au stade de possibilités thérapeutiques par le développement continu des instrumentations et techniques (ancres, sutures, ancillaires…). Les gestes se trouvent être plus précis par l'agrandissement que permet l'optique. On peut visualiser des espaces relativement fermés et en comprendre les détails.

Les points de ponction de petite taille sont moins agressifs qu'une incision cutanée plus ou moins large, une désinsertion partielle deltoïdienne ou d'autres voies encore plus agressives et nécessaires lors de la chirurgie conventionnelle. La réhabilitation est plus rapide avec une rééducation post-opératoire accélérée. Ceci contribue à diminuer l'indisponibilité des travailleurs.

L'agressivité diminuée contribue à favoriser les actes ambulatoires. Outre les recommandations de la Haute autorité de santé (HAS), la chirurgie ambulatoire est une avancée pour le confort des patients et la gestion hospitalière.

Les patients sont très demandeurs de techniques moins invasives et d'un bénéfice esthétique. Ils poussent les chirurgiens dans cette voie. L'arthroscopie de l'épaule est une façon de développer le recrutement et la réputation d'un chirurgien, de son équipe et d'un établissement [14].

Après ces 30 années d'évolution, l'arthroscopie a désormais une place évidente et incontournable dans la chirurgie de l'épaule.

3. Place actuelle de l'arthroscopie dans la chirurgie de l'épaule

Après avoir offert une meilleure compréhension diagnostique des pathologies de l'épaule, c'est le développement technique qui a permis de réaliser les mêmes gestes que la chirurgie à ciel ouvert. Sa place actuelle est définie par les résultats publiés dans les différentes indications. L'arthroscopie est incontournable pour la prise en charge de la majorité des pathologies de l'instabilité de l'épaule et des tendinopathies de la coiffe des rotateurs. Elle est parfois devenue une recommandation de la HAS, se substituant pleinement à la chirurgie ouverte.

On peut séparer les procédures en deux types :

– les procédures chirurgicales de pratique courante validées, dont les résultats sont au moins équivalents aux mêmes interventions réalisées en chirurgie ouverte;

– les procédures relevant de l'hyperspécialité, ou d'indications exceptionnelles validées.

3.1 Pratiques courantes

3.1.1. L'espace sous-acromial

Les gestes les plus courants se déroulent dans l'espace sous-acromial à l'occasion d'une bursoscopie.

L'acromioplastie est le premier geste à acquérir. Geste élémentaire de la prise en charge du conflit supérieur de Neer, il consiste à aplanir l'acromion devenu agressif pour les tendons supérieurs de la coiffe des rotateurs (figure 2). Dès 2008, la HAS recommande que ce type de geste mais aussi tous les gestes de débridement soient réalisés sous arthroscopie. En 2010, une méta analyse a renforcé le bien fondé de ces recommandations [15].

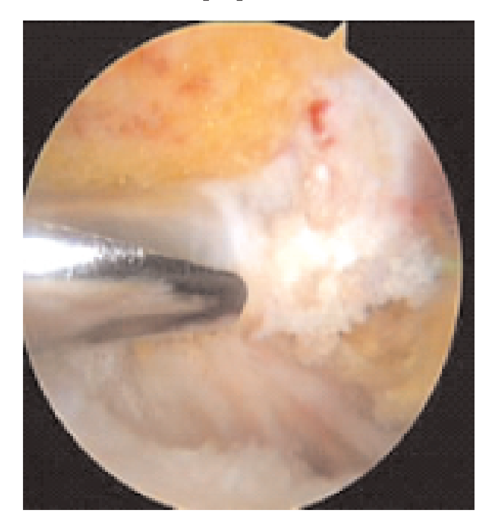


Figure 2.
Acromioplastie.

La chirurgie de la coiffe des rotateurs est désormais réalisée majoritairement sous arthroscopie. Elle permet de réaliser l'ensemble des gestes de réparation des différents tendons de la coiffe des rotateurs (figure 3). La chirurgie des lésions partielles des tendons (débridement ou réparations) est également recommandée par la HAS sous arthroscopie.



Figure 3.
Réparation de la coiffe des rotateurs en double rang.

Après échec de la prise en charge médicale de la tendinopathie calcifiante de la coiffe des rotateurs, l'évacuation d'une calcification se fera aisément lors d'une bursoscopie sous-acromiale.

3.1.2. L'articulation gléno-humérale

L'arthroscopie intra-articulaire GH permet de traiter les lésions de la LPB, du labrum et de leur composante mixte, les SLAP lésions.

Il est recommandé de réaliser une ténotomie du biceps sous arthroscopie qu'elle soit juxta-glénoïdienne ou bipolaire. On peut aussi aisément réaliser une ténodèse de ce tendon (figure 4). Concernant les SLAP lésions, l'arthroscopie va confirmer leur diagnostic et permettre la réinsertion du complexe labro-bicipital supérieur (figure 5) ou la réalisation d'une ténodèse de la LPB selon les écoles.

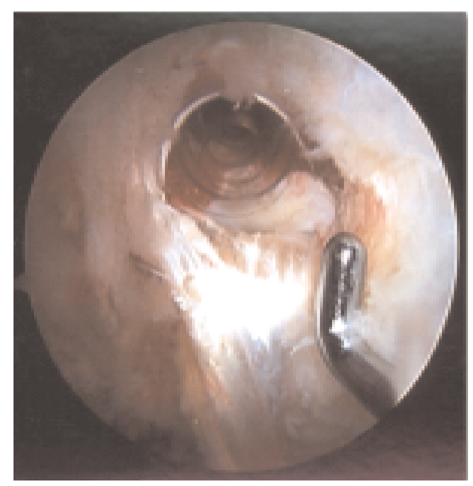


Figure 4.
Ténodèse du biceps à la vis.

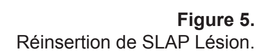
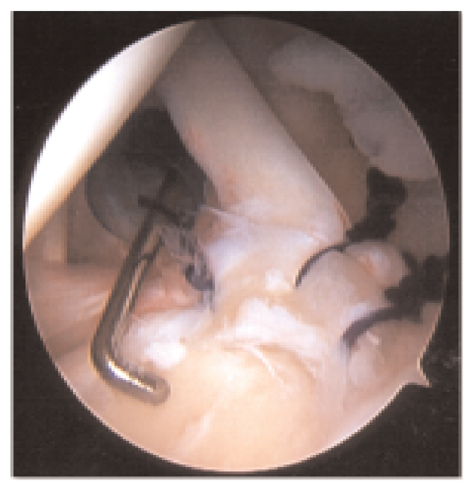


Figure 5.
Réinsertion de SLAP Lésion.



Les autres pathologies GH courantes sont représentées par l'instabilité GH. Au pays de la butée selon Latarjet, l'arthroscopie a su se développer dans la prise en charge des pathologies multiples du cadre nosologique des instabilités GH. L'intervention de Bankart, consistant en une rétention capsulaire et une réinsertion du labrum, initialement décrite à ciel ouvert, est majoritairement réalisée désormais sous arthroscopie. Outre l'intervention de Bankart, des gestes complémentaires pourront être associés comme la fermeture de l'intervalle des rotateurs, la capsulorraphie et la rétention du LGHI. L'arthroscopie a l'avantage de permettre un bilan circonférentiel des lésions labrales. Elle permettra un geste inférieur mais aussi les interventions dites de Bankart postérieur pour lesquelles l'abord à ciel ouvert est extensif.

Enfin dans l'arthrose GH débutante, l'arthroscopie va permettre de réaliser des débridements, des chondrectomies. Ces gestes proches du débridement sont utiles en cas d'infection : l'arthroscopie permet à la fois des prélèvements à visée bactériologique pour adapter l'antibiothérapie et un lavage articulaire efficace limitant ainsi les risques de non-cicatrisation des voies d'abord classiques.

3.1.3. L'articulation acromio-claviculaire

L'arthropathie acromioclaviculaire trouve dans l'arthroscopie un traitement de choix dans la libération de cette articulation en cas d'arthropathie microtraumatique.

Nous pouvons ainsi résumer les gestes validés en pratique courante :

– l'acromioplastie et la résection acromioclaviculaire ;
– la chirurgie de la coiffe des rotateurs ;
– la réinsertion du labrum et les gestes associés ;
– la ténotomie et la ténodèse de la LPB ;
– le débridement-lavage.

3.2. Pratiques d'exception

Certaines interventions sous arthroscopie sont des pratiques d'exception soit parce que la pathologie en question est exceptionnelle, soit parce que le geste nécessite une expertise particulière. Elles ont leur place dans l'arsenal thérapeutique car elles ont obtenu la validation scientifique.

3.2.1. L'espace sous-acromial

En pratique traumatologique, on peut réaliser au niveau de l'espace sous-acromial une réduction et une fixation des fractures du trochiter sous contrôle endoscopique. Ce geste est rendu difficile par le saignement de l'os spongieux. Il permet, de façon reproductible, de repositionner et de contrôler la réduction de la fracture sans abord ni fluoroscopie.

Parmi les séquelles traumatiques, les raideurs peuvent être traitées par bursoscopie, permettant une arthrolyse, une libération de la coiffe des rotateurs de ses adhérences médiales et une ouverture large de l'intervalle des rotateurs. Les indications restent limitées aux échecs de la rééducation.

3.2.2. L'articulation gléno-humérale

L'arthroscopie prend une place de plus en plus grande dans la prise en charge de l'instabilité GH, qu'elle soit antérieure, inférieure, postérieure ou multidirectionnelle. Wolf a proposé le remplissage des encoches postéro-supérieures dites de Malgaigne ou Hill-Sachs par le tendon du muscle infra-épineux dès 2004. L'*Hill-Sachs Remplissage* (HSR) permet de supprimer l'effet engageant des encoches. De nombreuses séries à plus de 2 ans de recul viennent confirmer le bien fondé de cette technique. C'est également Wolf qui a décrit dès 1995 l'*Humeral Avulsion of the Glenohumeral Ligaments Lesion* (HAGL) [16]. La désinsertion du LGHI sur son versant huméral est une des raisons de l'échec de la butée coracoïdienne dans l'instabilité antérieure. La réinsertion arthroscopique est possible, elle reste toutefois de réalisation difficile, réservée à des chirurgiens expérimentés [17].

En traumatologie, on peut contrôler la réduction des fractures de la glène stabilisées par des ancres [18].

Concernant le conflit postéro-supérieur, les résultats de glénoplastie arthroscopique ont été récemment validés par Lévigne [19]. Elle limite la zone de contact entre la face profonde de la coiffe et la glène.

Les complications de l'arthroplastie peuvent trouver exceptionnellement dans l'arthroscopie des indications électives comme le retrait de ciment, de débris d'implants dus à l'usure des prothèses ou même d'implants descellés.

3.2.3. L'espace scapulo-thoracique

La *snapping scapula* est une entité particulière dans les pathologies de conflit de l'épaule. Une bursectomie endoscopique peut être pratiquée dans l'espace scapulothoracique associée à une résection de l'angle supéro-médial de la scapula.

La compression du nerf supra-scapulaire est un syndrome canalaire qui compromet l'innervation de la coiffe supérieure et postérieure. Sa libération endoscopique consiste en une section du ligament transverse supérieur de la scapula. Il s'agit d'un geste d'exception, du fait de sa difficulté technique et du risque d'accident peropératoire par sa lésion, expliquant qu'il est réservé à des mains expertes [20]. C'est aussi la libération de l'échancrure par résection de kyste spino-glénoïdien.

3.3. Limites

De nombreuses techniques arthroscopiques sont donc validées et possibles en chirurgie de l'épaule, qu'elles soient courantes, d'exception ou hyperspécialisées, mais il existe des limites.

Elles sont essentiellement dues à certaines contraintes :

– la position semi-assise, avec les risques d'étirement au niveau du cou, nécessitant une table opératoire spécifique ou le décubitus latéral nécessitant une traction et ainsi une non liberté du membre supérieur ;

– la maîtrise de l'hémostase nécessite une gestion particulière de la pression

artérielle. Une hypotension contrôlée est nécessaire et peut s'avérer difficile à obtenir voire dangereuse si la position demi-assise est trop relevée. L'utilisation du sérum adrénaliné intra-articulaire est utile pour réaliser cette hémostase mais l'extravasation de l'adrénaline peut avoir un effet adverse sur le rythme cardiaque et contrecarrer les manœuvres du médecin anesthésiste ;

– le surcoût des matériels est un inconvénient majeur en comparaison à la chirurgie à ciel ouvert. Elle nécessite des arthropompes performantes intégrant les variations de pression et d'aspiration, comme les pompes à doubles galets. C'est aussi le coût de matériels spécifiques (électrodes de coagulation, *shaver*, canules …) et des implants (ancres, sutures).

Outre les contraintes, il existe, comme pour toute technique chirurgicale, des complications spécifiques :

– les complications neurologiques sont essentiellement d'origine posturale. La traction du membre supérieur est source de compressions directes au niveau de l'avant-bras ou d'étirement du plexus brachial ou des racines cervicales. L'installation a une importance capitale ; elle peut influencer une compression du nerf ulnaire controlatéral ou un étirement du nerf sciatique. Ces complications sont directement liées au temps opératoire souvent plus long qu'en chirurgie ouverte. Les voies d'abord doivent être respectées car réalisées trop basses, elles sont à l'origine de la section du nerf axillaire ;

– certaines complications sont liées au liquide de lavage. L'utilisation de glycocolle a été abandonnée depuis de nombreuses années. L'extravasation du liquide de lavage peut induire en cas de volume important une épaule pseudo-athlétique transitoire ;

– s'il est classique de dire que le taux d'infection du site opératoire est moins important qu'en chirurgie ouverte, cette notion n'est pourtant pas validée par des études de supériorité ;

– l'introduction d'instruments agressifs dans un espace réduit peut entraîner des lésions du cartilage. Cette notion d'espace réduit complique également les libertés de mouvements de l'opérateur. Les bris d'instruments ou d'implants sont classiques rendant leur récupération parfois difficile (figure 6).

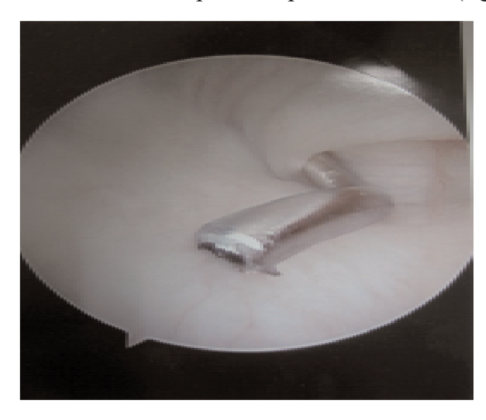


Figure 6.
Bris d'un crochet tombé dans le récessus inférieur.

L'apprentissage est aussi une limite de l'arthroscopie. En premier lieu le jeune chirurgien orthopédiste apprend dans le cadre de la traumatologie l'utilisation des instruments puis des voies d'abord. Il existe peu d'indication en traumatologie de l'arthroscopie. Elle nécessite une courbe d'apprentissage plus longue. Outre les chirurgiens, il est nécessaire de réaliser une formation plus importante du personnel du bloc opératoire devant la complexité des colonnes d'arthroscopie, des arthropompes et de la technologie audio-visuelle.

4. Les perspectives de l'arthroscopie dans la chirurgie de l'épaule

Les perspectives concernent les techniques en développement, leurs évaluations, et l'impact de ce développement sur la formation des chirurgiens. La validation scientifique des pratiques est la clef du développement des innovations technologiques. Si l'arthroscopie d'épaule devient un standard chirurgical, il faut se poser la question de la formation des praticiens.

Les perspectives sont d'ordre biologique, avec l'utilisation de *Platelet Rich Plasma* (PRP), injecté sous contrôle arthroscopique pour favoriser la cicatrisation des tendons de la coiffe des rotateurs [21]. L'utilisation des *Platelet Rich Fibrin* (PRF) après centrifugation, a le même objectif ; les premières publications sont encourageantes [22].

Les perspectives sont d'ordre technologique. C'est dans le domaine de l'instabilité GH que les plus grands développements techniques se concentrent actuellement. En Europe et en particulier en France, mais aussi désormais en Chine, plusieurs équipes développent des ancillaires et mettent au point des techniques permettant de réaliser une butée sous arthroscopie de façon reproductible. Outre les avantages attendus en termes de réhabilitation et de bénéfice esthétique, c'est surtout dans l'intégration d'une véritable stratégie globale de prise en charge de l'instabilité que l'arthroscopie se développe. Elle permet d'intégrer le geste d'apport osseux à un bilan articulaire complet et à l'adjonction de gestes comme le Bankart et l'HSR, rendant possible une véritable chirurgie à la carte. C'est la butée coracoïdienne de Latarjet que Lafosse a développée sous arthroscopie (figure 7) [23] ou la technique de Boileau utilisant un double endo-bouton [24] ou encore celle de Taverna utilisant une greffe iliaque [25].

L'idée d'une chirurgie moins agressive qu'à ciel ouvert encourage les chirurgiens à développer des techniques dans la prise en charge de l'arthrose par interposition membranaire chez le sujet jeune [26]. Des tentatives d'aide à la réalisation d'arthroplastie de l'épaule existent. Ces techniques utilisent l'arthroscopie pour réséquer la tête humérale, puis ouvrir l'intervalle des rotateurs puis placer une prothèse d'interposition en pyrocarbone. L'arthroscopie peut également servir d'aide à la réalisation d'une arthrodèse GH [27].

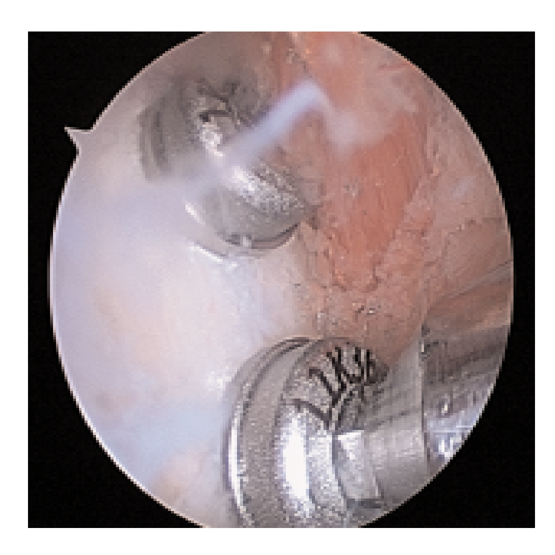


Figure 7.
Butée sous arthroscopie.

L'articulation acromio-claviculaire peut aisément être stabilisée en aigu sous arthroscopie. Des techniques réservées aux lésions chroniques se développent comme le transfert du ligament-acromio-coracoïdien selon la technique de Waever-Dunn.

Ces perspectives techniques ne pourront pas être appliquées tant qu'elles n'auront pas été évaluées. Vingt-quatre essais ouverts comparant les mêmes techniques réalisées en arthroscopie et en chirurgie ouverte de l'épaule sont en cours aux États-Unis. Cette évaluation, une fois que le bénéfice individuel aura été établi, se fera aussi sur le coût sociétal. C'est alors que ces techniques, actuellement en perspective, pourront faire l'objet de recommandations édictées par les sociétés savantes.

L'arthroscopie de l'épaule est devenue incontournable dans la chirurgie de l'épaule. Il est donc nécessaire de se pencher sur la formation des chirurgiens. La Société française d'arthroscopie organise et encadre depuis de nombreuses années ces formations en France. Elles se font à travers des stages validants dans le cadre du diplôme inter-universitaire d'arthroscopie, mais aussi de voyages d'étude dans des centres référents ou *Travel fellowships*. La simulation est particulièrement adaptée en arthroscopie. Elle se pratique sur cadavre au sein de structures privées ou publiques. Parrainées par les sociétés savantes, elle nécessite des partenariats public-privé en raison de coûts toujours plus importants. Pour les gestes les plus élémentaires, elle peut aussi s'apprendre sur maquette ou simulateur de type ARTHRO Mentor®.

La jeune génération de chirurgiens bénéficie très précocement dans leur formation de ces nouvelles indications et procédures. Il est nécessaire de maintenir un équilibre avec la culture chirurgicale dite classique à ciel ouvert pour leur permettre d'être capable de s'adapter à toutes les situations.

À l'instar de l'ensemble de l'apprentissage de la chirurgie, le point clef reste le compagnonnage.

5. Conclusion

L'épaule n'a pas dérogé à la règle du développement de l'arthroscopie pour la prise en charge de ses pathologies.

Le développement de l'arthroscopie d'épaule a été exponentiel ces dernières années, et les perspectives sont nombreuses.

Ces perspectives doivent être évaluées et validées, en particulier pour leur pertinence et leur reproductibilité.

La majeure partie des techniques s'adresse aux pathologies microtraumatiques des sportifs, et à ce titre concerne directement la population des militaires.

Il faut ainsi élaborer de futurs projets scientifiques, comme la validation de la stabilisation primaire des luxations antéro-internes de l'épaule, afin d'en préciser les indications chez les militaires.

Nous avons établi la nécessité d'une formation spécifique qui concerne tous les chirurgiens orthopédistes civils et militaires, à travers un enseignement théorique et pratique adapté.

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de la leçon de 24 heures (par ordre alphabétique) : Jean-Philippe Avaro, Pascal Boileau, Hubert de Belnet, Amandine Lamy, Marc Legname, Jean-Baptiste Meynard, Lionel Neyton, Minh Khan N'Guyen, Emmanuel Soucanye de Landevoisin.

Références bibliographiques

[1] Burman MS. Arthroscopy, a direct visualization of joints: an experimental cadaver study. J Bone Joint Surg Am 1931;13:669.

[2] Andrews JR, Broussard TS, Carson WG. Arthroscopy of the shoulder in the management of partial tears of the rotators cuff: a preliminary report. Arthroscopy. 1985;1:117-22.

[3] Detrisac DA, Johnson LI. Arthroscopic shoulder anatomy. Pathologic and surgical implications. Thorofare: Slack Inc; 1996.

[4] Williams DD, Snyder SJ, Buford D. Th Buford complex. The «cord-like» middle glenohumeral ligament and absent anterosuperior labrum complex: a normal anatomic capsulolabral variant. Arthroscopy 1994;10:241.

[5] Turkel SJ, Panio DW, Marshall JL, Girgis PG. Stabilizing mechanisms preventing anterior dislocation of the glenohumeral joint. J Bone Joint Surg Am 1981; 63: 1208-17.

[6] Morgan CD, Rames RD, Snyder SJ. Arthroscopic assessment of anatomical variations of the glenohueral ligaments associated with recurrent anterior shoulder

instability. 59th Annual Meeting Am Ac Orthop Surgeons, Washington, 1992.

[7] Ellman H, Hanker G, Bayer M. Repair of the rotator cuff. End-result study of factors influencing reconstruction. J Bone Joint Surg Am. 1986;68(8):1136-44.

[8] Toussaint B, Barth J, Charousset C, Godeneche A, Joudet T, Lefebvre Y, Nove-Josserand L, et al. French Arthroscopy Society (SFA). New endoscopic classification for subscapularis lesions. Orthop Traumatol Surg Res. 2012; 98(8 Suppl):S186-92.

[9] Gerber C, Sebesta A. Impingement of the deep surface of the subscapularis tendon and the reflection pulley on the anterosuperior glenoid rim: a preliminary report. J Shoulder Elbow Surg. 2000;9:483-90.

[10] Walch G, Liotard JP, Boileau P, Noël E. Conflit glénoidien postéro-supérieur : unnouveau conflit de l'épaule. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot. 1991;77:571-4.

[11] Boileau P, Ahrens PM, Hatzidakis AM. Entrapment of the long head of the biceps tendon: the hourglass biceps--a cause of pain and locking of the shoulder. J Shoulder Elbow Surg. 2004;13:249-57.

[12] Snyder SJ, Karzel RP, Del Pizzo W, Ferkel RD, Friedman MJ. SLAP lesions of the shoulder. Arthroscopy. 1990;6:274-9.

[13] Wolf EM, Arianjam A. Hill-Sachs remplissage, an arthroscopic solution for the engaging Hill-Sachs lesion: 2- to 10-year follow-up and incidence of recurrence. J Shoulder Elbow Surg. 2013; 29.

[14] Sperling JW, Smith AM, Cofield RH, Barnes S. Patient Perceptions of Open and Arthroscopic Shoulder Surgery. Arthroscopy: 2007: 361-6.

[15] Davis S, Kakar S, Moros C, Krall Kaye E, Schepsis A, Voloshin I. Arthroscopic versus open acromioplasty: a Meta-analysis. Am J Sports Med 2010, 38 :613.

[16] Wolf EM, Cheng JC, Dickson K. Humeral avulsion of glenohumeral ligaments as a cause of anterior shoulder instability. Arthroscopy. 1995;11:600-7.

[17] Spang JT, Karas SG. he HAGL lesion: an arthroscopic technique for repair of humeral avulsion of the glenohumeral ligaments. Arthroscopy. 2005;21(4):498-502.

[18] Bauer T, Abadie O, Hardy P Arthroscopic treatment of glenoid fractures. Arthroscopy. 2006;22:569.e1-6.

[19] Lévigne C, Garret J, Grosclaude S, Borel F, Walch G. Surgical technique arthroscopic posterior glenoidplasty for posterosuperior glenoid impingement in throwing athletes. Clin Orthop Relat Res. 2012;470:1571-8.

[20] Lafosse L, Piper K, Lanz U. Arthroscopic suprascapular nerve release: indications and technique. J Shoulder Elbow Surg. 2011;20(2 Suppl):S9-13.

[21] Randelli P, Arrigoni P, Ragone V, Aliprandi A, Cabitza P. Platelet rich plasma in arthroscopic rotator cuff repair: a prospective RCT study, 2-year follow-up. J Shoulder Elbow Surg. 2011;20:518-28.

[22] Zumstein MA, Rumian A, Lesbats V, Schaer M, Boileau P. Increased vascularization during early healing after biologic augmentation in repair of chronic rotator cuff tears using autologous leukocyte- and platelet-rich fibrin (L-PRF): a prospective randomized controlled pilot trial. J Shoulder Elbow Surg. 2014;23:3-12.
[23] Lafosse L, Boyle S. Arthroscopic Latarjet procedure. J Shoulder Elbow Surg. 2010;19(2 Suppl):2-12.
[24] Boileau P, Mercier N, Roussanne Y, Thélu CÉ, Old J. Arthroscopic Bankart-Bristow-Latarjet procedure: the development and early results of a safe and reproducible technique. Arthroscopy. 2010 Nov;26:1434-50.
[25] Taverna E, Golanò P, Pascale V, Battistella F. An arthroscopic bone graft procedure for treating anterior-inferior glenohumeral instability. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2008 Sep;16:872-5.
[26] de Beer JF, Bhatia DN, van Rooyen KS, Du Toit DF. Arthroscopic debridement and biological resurfacing of the glenoid in glenohumeral arthritis. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2010 Dec;18:1767-73.
[27] Syal A1, Mac Donald P. Arthroscopic arthrodesis of the shoulder: a report of two cases. J Shoulder Elbow Surg. 2008;17:23-5.

Les fractures ouvertes du membre inférieur en situation précaire : exemple de l'Afrique de l'Ouest

Coumba Diouf Niang

1 Introduction

La fracture ouverte n'a pas changé de définition en Afrique ; elle reste la solution de continuité osseuse avec une effraction cutanée faisant communiquer le foyer de fracture avec l'extérieur ; mais elle survient dans un contexte géographique, démographique, économique et sanitaire spécifique et particulier.

L'évolution naturelle d'une fracture ouverte dans cet environnement précaire est bien souvent péjorative et ici plus qu'ailleurs plane le spectre de la pseudarthrose septique exposée et de l'amputation.

L'urbanisation explosive et anarchique en Afrique est à l'origine d'une traumatologie routière extrêmement fréquente, responsable de lésions à haute cinétique. Il s'agit de lésions pluri-tissulaires graves qui engagent le pronostic du membre mais aussi le pronostic vital.

Leur prise en charge représente un véritable challenge thérapeutique du fait de l'inadéquation des moyens, face à la complexité du traitement initial et à la fréquence des complications infectieuses et osseuses.

Les ressources médicales sont rares, mal réparties et en concurrence avec des pratiques culturelles profondément ancrées laissant le champ libre aux « guérisseurs », aux pratiques douteuses et souvent nocives.

2. Définition et limites

Notre propos concernera les fractures ouvertes du membre inférieur, en excluant d'emblée le bassin qui pose des problèmes différents.

Ces fractures seront étudiées dans un contexte de précarité qui caractérise la plupart des pays de l'Afrique de l'ouest. Ces conditions difficiles vont influencer l'histoire naturelle de ces lésions dont la prise en charge a ailleurs bénéficié des progrès de la médecine.

3. Historique

L'histoire des fractures ouvertes de membres n'est ni propre ni spécifique à l'Afrique.

Les découvertes ont été rythmées par les grandes campagnes militaires.

Ambroise Paré [1] fut le premier à rapporter le traitement chirurgical d'une fracture ouverte du membre inférieur basé sur l'alignement des fragments, l'ablation des fragments libres, une immobilisation et des pansements antiseptiques.

Larrey fit la promotion du traitement radical par excision tissulaire jusqu'à amputation de tout ou partie du membre devant les infections graves pour diminuer la mortalité effroyable de la gangrène gazeuse.

Rappelons pour mémoire, et pour leur rendre hommage, la participation des tirailleurs sénégalais à ces grandes guerres.

Le XXe siècle a vu une amélioration considérable de la prise en charge des fractures ouvertes de membre, en particulier grâce à une systématisation de l'attitude chirurgicale centrée sur le parage, le développement de l'ostéosynthèse et des fixateurs externes et l'avènement des antibiotiques.

Au cours des 30 dernières années, la diffusion des techniques de couverture par lambeaux a encore fait progresser le traitement de ces lésions.

L'Afrique devrait pouvoir s'approprier ces avancées thérapeutiques et chirurgicales dans le cadre des fractures ouvertes de membres. En clair, la fracture ouverte en Afrique ne devrait pas être moins bien traitée qu'ailleurs.

4. Épidémiologie

4.1. Cadre général

Les fractures ouvertes du membre inférieur s'intègrent dans le cadre général de la traumatologie qui représente la troisième cause de mortalité en Afrique (17,2 décès par 100 000 habitants). La prédominance masculine est très nette (80 %) et une atteinte toute particulière des sujets jeunes, âge moyen 22 ans. Parmi les fractures ouvertes du membre inférieur, 65 % concernent la jambe qui est le site anatomique le plus touché. Parmi les fractures de jambe, entre 23 et 45 % sont des fractures ouvertes.

Il s'agit donc de lésions extrêmement fréquentes survenant dans un contexte géographique, économique, démographique et socioculturel très particulier (figure 1).



Figure 1.
Urbanisation anarchique.

Le climat est intertropical, fait d'alternance de zones pluvieuses et humides et de zones sèches voire désertiques. L'écosystème s'en ressent et influence la flore microbienne rencontrée.

Du point de vue économique la précarité est la règle :

– le produit national brut (PNB) est faible ;

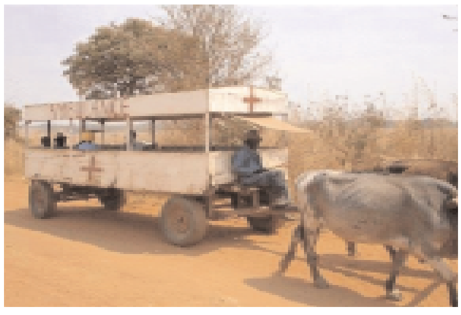
– plus de 30 % de la population n'atteint pas l'apport calorique journalier minimal. Cette malnutrition est un facteur de morbidité : elle favorise l'infection, les retards de cicatrisation et les défauts de consolidation ;

– l'espérance de vie moyenne est très faible de l'ordre de 51 ans ;

– le financement de la santé est bas et n'atteint pas l'objectif OMS qui est de 34 dollars US/personne/an. En Afrique de l'ouest, il est de 10 dollars US/personne/an, investissement attendu lorsqu'on sait que les États africains consacrent moins de 15 % de leur budget national aux dépenses de santé.

Les structures sanitaires sont en conséquence rares. En particulier, les hôpitaux capables de prendre en charge les fractures graves le sont encore plus (figure 2).

Les chirurgiens orthopédistes sont très peu nombreux. Si on prend l'exemple du Sénégal on peut estimer leur nombre à une vingtaine pour 13 millions d'habitants soit un orthopédiste pour 650 000 habitants. Par ailleurs ces chirurgiens exercent pour plus de la moitié dans la capitale.



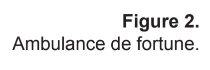


Figure 2.
Ambulance de fortune.

Cette situation impose une logique d'évacuation des blessés vers les grands centres mais elle se heurte à un déficit en ambulances, à un réseau routier catastrophique enclavant certaines régions. La médecine pré-hospitalière est quasi inexistante.

Cette défaillance des systèmes de santé associée aux croyances culturelles laissent une trop grande place à la médecine dite « traditionnelle ». En effet 25 % des traumatisés avec fracture ont recours à cette médecine des « guérisseurs » (figure 3).

Au total la précarité est caractérisée par :

– le faible financement de la santé par gouvernement ;

– le faible taux de couverture médicale ;

– l'absence de système de protection sociale ;

– l'absence d'approvisionnement régulier ;

– les plateaux techniques souvent déficients ;

– la faiblesse de la recherche opérationnelle ;

– la place trop importante de la médecine traditionnelle ;

– le non financement de la prise en charge des pathologies traumatiques au profit d'objectifs millénaires pour le développement (éducation, pathologies infectieuses, santé maternelle et infantile), décidés par les bailleurs hors des priorités spécifiques.



Figure 3.
Guérisseur.

4.2. Circonstances de survenue

Les accidents de la circulation routière (AC) représentent la première étiologie: prés de 61 % des cas au Burkina et 53 % des cas au Sénégal (figure 4).

Les statistiques de l'Organisation mondiale de la santé sont éloquentes à ce

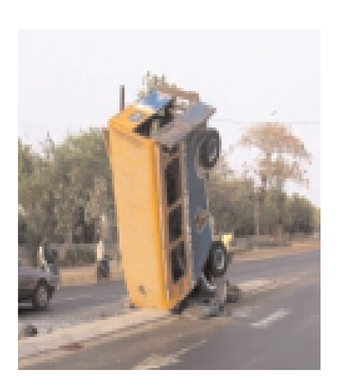




Figure 4.
Exemples de transports en Afrique.





propos : un jeune de 25 ans meurt toutes les heures sur les routes de l'Afrique.

Il est important de noter la proportion importante des piétons qui peuvent représenter par endroit 30 % des cas.

Les accidents domestiques (AD) sont également une cause fréquente de fracture ouverte. Une étude conduite à l'Hôpital principal de Dakar sur les lésions traumatiques en général avait retrouvé une quasi égalité des AC et des AD dans les étiologies des traumatismes. En fait nos maisons sont aussi dangereuses que nos routes.

L'Afrique est également le lieu de conflits, guérillas, rebellions, autant de théâtres d'opération qui vont être pourvoyeurs de fracas ouverts de guerre par projectiles, mines, armes blanches, lésions dont la prise en charge est encore plus aléatoire.

Les conditions de travail souvent sans protection particulière font également la fréquence des accidents du travail (AT).

La population africaine, caractérisée par sa jeunesse, rend compte d'une part importante de fractures ouvertes en lien avec des accidents du sport (AS).

Enfin il existe des circonstances particulières spécifiques que nous décrirons avec les formes cliniques.

5. Physiopathologie

Les circonstances décrites, les mécanismes lésionnels restent sans particularité. Il s'agit :

– d'un choc direct avec des dégâts cutanés et des parties molles en regard de l'impact de l'agent vulnérant. L'ouverture se fait souvent de dehors en dedans ;

– d'un choc indirect responsable de lésions cutanées et des parties molles à distance de la zone d'impact. L'ouverture se fait de dedans en dehors ;

– de lésions par projectiles entrainant volontiers des dégâts cutanés et des parties molles délabrées.

Le risque infectieux est majeur, inhérent à l'ouverture. Il dépend entre autres de l'importance de l'ouverture et des dégâts tissulaires, de l'importance de la contamination microbienne et de l'écologie bactérienne ; mais aussi, du délai de prise en charge (figure 5).

La contamination exogène d'une fracture ouverte est constante et doit être systématiquement présente à l'esprit.



Figure 5. Cycle de l'infection d'une fracture ouverte.

Elle est de deux types :

– la flore cutanée commensale du blessé (staphylocoques, *Propionibacterium*, corynebactéries) ;

– la flore environnementale (bacilles Gram négatif, *Clostridium perfringens* et *tetanii*).

6. Anatomie pathologique

Chacune des régions du membre inférieur a ses propres spécificités, ce qui permet un démembrement analytique.

Les fractures du fémur proximal sont plutôt d'étiologie balistique. Elles rentrent dans le cadre des plaies de hanche de guerre dont on connait la gravité. Les fractures ouvertes en traumatologie routière touchent essentiellement la diaphyse, zone d'os solide et enchâssé derrière d'épaisses masses musculaires. Elles posent le problème de leur stabilisation.

Autour du genou, les fractures peuvent intéresser le fémur distal ou le tibia proximal. Parfois, il s'agit de lésions étagées déterminant un genou flottant. Elles posent le problème de la destruction d'une articulation portante. Les rapports anatomiques du creux poplité voisin entraînent souvent une implication vasculaire et/ou nerveuse.

Le segment jambier constitue le paradigme de la fracture ouverte en raison de son rôle de soutien, du siège superficiel du tibia, de la présence d'importantes masses musculaires au sein de loges aponévrotiques inextensibles. Le syndrome compartimental est possible même en présence de l'ouverture du foyer de fracture. Les fractures ouvertes de jambe posent régulièrement le problème de la couverture du foyer surtout au tiers inféro-médial, correspondant au quadrilatère maudit de Vilain.

La cheville superficielle et le pied posent le problème de la destruction d'une articulation fondamentale pour l'appui et la locomotion.

La description anatomopathologique de la fracture est tout à fait classique. Le trait de fracture peut aller du type simple au fracas comminutif avec perte de substance osseuse d'emblée (figure 6).

Figure 6. Différentes localisations de fracture ouverte du membre inférieur.



De même, l'ouverture cutanée, mais surtout les dégâts des parties molles peuvent revêtir tous les aspects, de l'ouverture punctiforme au grand délabrement voire à la quasi-amputation traumatique.

Les lésions associées, notamment vasculaires et/ou nerveuses, peuvent grever le pronostic déjà compromis du membre. En effet, l'atteinte du nerf sciatique poplité interne responsable de la sensibilité plantaire peut rendre hésitante la décision entre un traitement conservateur et une amputation.

Ces traumatismes, survenant dans un contexte de haute énergie peuvent émailler un polytraumatisme et passer au second plan, après des lésions qui engagent immédiatement le pronostic vital : rate, foie, thorax, bassin, crâne, rachis, etc.….

Ces lésions doivent être classées. De très nombreuses classifications existent prenant plus ou moins en compte les éléments constitutifs du bilan lésionnel: Byrd AO, score Mess, Méchélany, Catagny… Deux retiennent notre faveur :

- Cauchoix Duparc [2]: classification véhiculaire connue de tous mais qui ne parle que de l'ouverture cutanée ;
- Gustillo, Anderson et Mendoza [3] qui prend en compte lésions osseuses et cutanées (figure 7).

Figure 7. Classifications des fractures ouvertes.

Classification française par Cauchoix. Duparc et Bolez (Mem Acad Chir 1957;93:811-82) et complétée par Duparc et Huten (in Vidal J, Traitement des fractures récentes de jambe, Cahiers d'enseignement de la SOFCOT, Paris : Expansion Scientifique Française ; 1981)	
Type I	Ouverture punctiforme, peu étendue, sans décollement ni contusion, aisement suturable.
Type II	Risque élevé de nécrose secondaire après suture car nécessité de tension pour occlure, ou important décollement et contusion appuyée, ou lambeau à vitalité douteuse.
Type III	Perte de substance prétibiale non suturable. - A : surface limite, fermeture possible à partir des tissus sains périphériques - B : surface étendue, cicatrisation dirigée impossible.

La classification initiale de Gustilo et Anderson(J. Bone Joint Surg Am 1976; 58:453-8) a été complétée par le même auteur pour les types III (J. Tauma 1984; 24 : 742-6).	
Type I	- Ouverture cutanée, propre <1cm - Faible lésion des parties molles, absence d'écrasement - Foyer simple (transverse- oblique court)
Type II	- Ouverture >1cm sans lambeau ni avulsion cutanée - Ecrasement léger ou modéré - Contamination modérée - Comminution modérée
Type III	- Fermeture cutanée possible - Fracture comminutive ou bifocale par traumatisme à haute énergie - Perte de substance cutanée et des parties molles au regard du foyer. Décollement périosté. Lambeau de recouvrement indispensable. - Contamination massive - Comminution fracturaire majeure - Ouverture et foyer de tout type - Ischémie par interruption des axes vasculaires jambiers

7. Diagnostic

Le diagnostic ne pose aucun problème dans les formes vues précocement. Il est facile, évident devant les circonstances, le traumatisme, la douleur, la déformation, l'impotence fonctionnelle, et les lésions des parties molles ; allant de la simple effraction cutanée jusqu'aux délabrements majeurs avec perte de substance pluritissulaire.

L'examen clinique doit aussi s'attacher à rechercher des complications d'aval vasculaires et/ou neurologiques.

En milieu précaire, le diagnostic tardif de fractures ouvertes négligées est une situation fréquente (figure 8). Les blessés peuvent être reçus au stade de fistule, de pseudarthrose septique, d'ostéite, de pan diaphysite, de cal vicieux, de séquestre.

Les examens paracliniques se résument le plus souvent à la radiographie standard de face et de profil du segment concerné prenant les articulations sus- et sous-jacentes. Ils confirment la solution de continuité osseuse et permettent de préciser son type anatomo- pathologique.

Un bilan biologique minimal d'opérabilité complète l'exploration paraclinique.



Figure 8.
Formes vues tardivement.

8. Formes cliniques particulières

Certaines formes de ces fractures ouvertes du membre inférieur, spécifiques à l'Afrique méritent d'être individualisées :

-la fracture sur « marche-pied du car rapide » (figure 9).

Il s'agit de fractures survenant chez des sujets debout sur le marche-pied à l'arrière de bus, de transports en commun, qualifiées de « car rapide ». Ces sujets sont des employés du bus et annoncent la destination à la criée. C'est sur ce marche-pied qu'ils sont surpris et écrasés par un véhicule venant de derrière.



Figure 9.
La fracture sur "marche pied" du car rapide.

Ces lésions sont fréquentes, graves du fait de l'écrasement et souvent bilatérales atteignant les deux os des deux jambes. Ce type d'accident peut également atteindre les voyageurs de ces « cars rapides ».

- les fractures par chute d'un arbre.

La cueillette des fruits se fait souvent de manière artisanale sans éléments de protection appropriés. Les chutes sont fréquentes et vont déterminer des lésions de gravité croissante en fonction de la hauteur de l'arbre et de la nature du sol. Ces lésions concernent une proportion importante de jeunes enfants (figure 10).

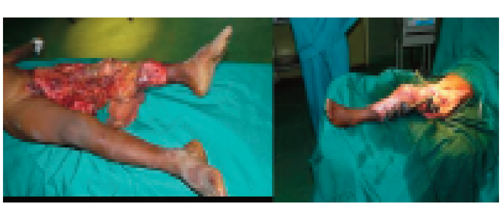
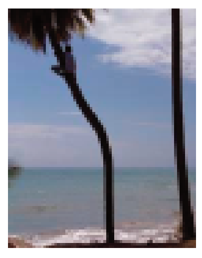



Figure 10. Fractures ouvertes par chute d'un arbre.

- les fractures sur terrain de dépigmentation (« xessal » des femmes sénégalaises)

Des pratiques « esthétiques » douteuses poussent une proportion importante de femmes à la pratique de la dépigmentation par divers produits. Les plus nuisibles sont les dermocorticoïdes responsables d'une fragilité cutanée, d'une modification de l'écosystème bactérien. Les conséquences sont des difficultés de cicatrisation et une propension plus importante à l'infection (figure 11).



Figure 11. Dépigmentation.

- morsures d'animaux.

La cohabitation avec les grands animaux utilisés pour les travaux champêtres est source de fractures ouvertes par morsures le plus souvent (figure 12). Ces lésions sont caractérisées par un délabrement important des parties molles et un risque septique immédiat et important [4].

- les coupe-coupe et machettes, armes des pauvres sont également en cause dans les divers conflits armés fréquents en Afrique.



Figure 12.
Morsure d'animaux.

- enfin, citons les fractures ouvertes reçues en seconde main après échec ou complications d'un traitement traditionnel : 25 % des patients atteints de fracture ont recours à la médecine traditionnelle (figure13).

Figure 13.
Traitement traditionnel.



9. Traitement

Les fractures ouvertes des membres en milieu précaire sont caractérisées par le polymorphisme des circonstances, des lésions, et des formes cliniques.

Le traitement doit en conséquence tenir compte de ce polymorphisme, et s'adapter aux délais et au niveau de prise en charge dans la pyramide sanitaire.

L'objectif ambitieux est d'obtenir un membre eutrophique, stable, consolidé, fonctionnel et indolore.

Les moyens vont s'adresser aux trois composantes de la lésion : la fracture, le délabrement des parties molles et l'infection.

Ce traitement peut se décliner sous trois modalités :

- le traitement idéal ;
- le traitement « à la carte » ;
- l'amputation.

Le traitement « idéal » est universel : c'est une séquence thérapeutique, une véritable stratégie de prise en charge, vers laquelle il faut tendre, l'impératif étant d'avoir tous les moyens techniques nécessaires.

Cette stratégie doit se dérouler selon un chronogramme précis : il faut dans les six

heures, réaliser un débridement / parage ; dans les sept jours, régler les problèmes de couverture du foyer (réparation des parties molles) ; dans les huit semaines, réaliser les gestes d'aide à la consolidation tels qu'un apport osseux et enfin, dans les neuf mois, permettre une réhabilitation du blessé.

En pratique, les phases du traitement en urgence d'une fracture ouverte sont une évaluation globale, un débridement, une évaluation tissulaire, un parage, une évaluation du défect et une stabilisation.

Le débridement consiste à sectionner tout ce qui empêche d'accéder à la chambre d'attrition constituée par le foyer de fracture.

Le parage est l'excision des lésions tissulaires irréversibles. Le problème est de distinguer ce qui est réversible de ce qui ne l'est pas. L'existence de lésions de vitalité douteuse justifie l'intérêt de parages itératifs.

Ces gestes capitaux nécessitent peu de moyens. Il faut un bistouri à lame, une curette, une seringue remplie de sérum physiologique et un instrument capital : « l'envie de bien faire » qui doit sous-tendre tout geste de chirurgie et qui peut éventuellement compenser le manque d'expérience ; car ce geste fondamental est souvent confié au chirurgien le plus jeune et le moins expérimenté.

C'est au terme de cette étape que l'on fait le classement définitif des lésions. Plusieurs éléments conditionnent la suite du traitement :

- une ischémie dépassée fera discuter une amputation ;
- un défect osseux, en fonction de son importance, fera discuter une impaction-raccourcissement, une entretoise cimentée ou une amputation ;
- l'état des parties molles et les possibilités de couverture du foyer feront discuter un lambeau, une cicatrisation dirigée et au pire une amputation.

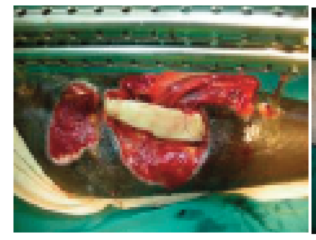
La stabilisation est l'étape suivante. Elle dépend de quatre facteurs que sont :

- l'évaluation définitive du parage ;
- les caractéristiques du foyer de fracture ;
- les possibilités de couverture du foyer en urgence ;
- le matériel disponible.

L'ostéosynthèse interne dans ce contexte est à envisager avec prudence en raison de délais de consultation longs, du degré de contamination des lésions et de la limitation des moyens de prise en charge.

Le fixateur externe est le traitement de choix. Il doit être mis en place en tenant compte des gestes futurs [5, 6] (figure 14).

Figure 14.
Traitement séquentiel.




La réparation des parties molles obéit à un principe immuable : toute fracture ouverte doit devenir très rapidement une fracture couverte et le rester. Plusieurs techniques sont possibles :

- la cicatrisation dirigée obtenue par méthode d'irrigation goutte à goutte, thérapie par pression négative « artisanale » par aspiration au vide mural. Le bourgeonnement obtenu est recouvert par une greffe de peau (figure 15).

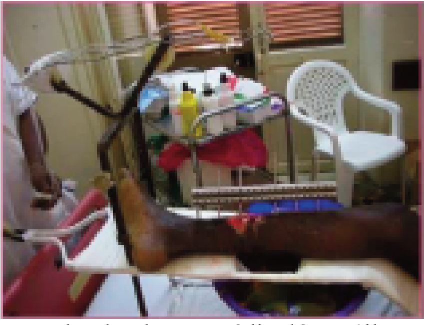


Figure 15.
"Goutte à goutte".

- les lambeaux pédiculés qu'ils soient musculaires ou fascio-cutanés sont la meilleure façon de couvrir la fracture [7] (figure 16).

La prise en charge d'une fracture ouverte ne se limite pas à l'urgence. La seconde étape s'intéresse à la consolidation osseuse qui peut être obtenue de façon primaire spontanée mais, le plus souvent, est aidée par un apport osseux autologue en un ou deux temps après la mise en place d'une entretoise cimentée selon Masquelet [8, 9].



Figure 16.
Lambeaux facio-cutanés.

À la jambe, la greffe inter tibio-fibulaire (GITF) est une intervention fiable permettant la consolidation. Elle repose sur une fibula solide car, stabilisée au préalable, elle est la béquille de la GITF. Dans cette situation la fibula est un allié précieux. Elle peut aussi être un facteur de pseudarthrose empêchant la compression inter-fragmentaire du tibia et devenir notre pire ennemi. C'est cette situation ambiguë que nous avons nommée le « paradoxe fibulaire ».

Le traitement chirurgical doit être sous tendu par une prise en charge médicale associant un traitement antalgique efficace, une prévention de la maladie thromboembolique, du tétanos et de la gangrène gazeuse entre autres infections.

L'antibioprophylaxie cible les tissus vascularisés et la flore contaminante.

Elle ne se justifie qu'à la phase initiale et n'est efficace qu'en complément de la détersion mécanique. Elle doit être de courte durée (inférieure à 48 heures) [10-12].

Après douze heures, l'infection est déclarée ; l'antibioprophylaxie n'a plus de place. Les prélèvements bactériologiques profonds sont indispensables en vue d'une antibiothérapie ciblée.

Retenons qu'avant six heures, l'antibioprophylaxie est systématique et les prélèvements bactériologiques non indiqués ; après la douzième heure, l'antibioprohylaxie doit être proscrite au profit d'une antibiothérapie tenant compte de la documentation microbiologique apportée par les prélèvements bactériologiques.

Ce traitement idéal universel logique n'est pas toujours possible en milieu précaire. La réalité du terrain impose bien souvent des compromis thérapeutiques avec un traitement à la carte. Dans tous les cas, le dénominateur commun reste le débridement-parage, nécessitant peu de moyens, et quasiment toujours possible. La stabilisation, à défaut de fixateur externe, pourra faire appel à l'immobilisation plâtrée fenêtrée ou à une orthèse (figure 17). La traction extension continue est également une alternative acceptable (figure18). Ces stabilisations peuvent être couplées à du matériel interne de faible encombrement représenté par les broches de Kirchner.



Figure 17.
Plâtre fenêtré.

Figure 18.
Traction continue



Une autre alternative est représentée par le *Damage control* orthopédique (DCO), principe de prise en charge en urgence des fractures, basé sur une stabilisation temporaire permettant une fixation secondaire définitive sans en limiter les possibilités [13]. Ce DCO peut être qualifié de « nécessité » lorsqu'il est imposé par l'environnement (afflux de blessés, matériel indisponible, personnel non qualifié) ou par le patient (lésions pluritissulaires, polytraumatisé instable). Parfois, ce DCO est qualifié de « raison » lorsqu'il est un choix raisonné intégré dans une stratégie tactique bien pensée. En tout état de cause, le DCO n'est pas un recul thérapeutique mais un élan thérapeutique, permettant de « reculer pour mieux sauter ».

L'amputation est le dernier recours. Elle ne doit pas être considérée comme une faute technique mais plutôt comme une indication réfléchie basée sur des critères objectifs (ischémie dépassée, atteinte nerveuse..) [14]. Parfois ces critères peuvent paraître subjectifs (impasse thérapeutique) en sachant mettre un terme à une longue aventure sans fin.

Les indications sont difficiles à systématiser, comme le résume Masquelet :

« Le polymorphisme extrême des tableaux cliniques et la disparité conceptuelle des traitements proposés rendent difficiles une clarification des indications thérapeutiques » [15].

10. Évolution

Dans ce contexte de précarité, les complications infectieuses sont la grande crainte à la phase aiguë en sus des complications classiques de toute fracture. La gangrène gazeuse et le tétanos sont encore d'actualité et doivent être présents à l'esprit et prévenus.

La phase secondaire est marquée souvent par une pseudarthrose septique exposée qui fera discuter une amputation de résignation, toujours difficile à faire accepter par le patient.

11. Conclusion

Les fractures ouvertes des membres constituent une pathologie fréquente et grave dont l'évolution reste encore de nos jours dominée par le spectre de l'infection et de l'amputation, particulièrement en milieu précaire, la contamination initiale de la plaie étant alors une constante.

Ces fractures ouvertes surviennent ici dans un contexte géographique, démographique, économique et sanitaire spécifique. Leur prise en charge représente un véritable challenge thérapeutique par la fréquence des complications vasculaires, infectieuses et osseuses d'une part et d'autre part, la complexité du traitement.

Le traitement chirurgical est le plus souvent conditionné par le contexte et par la réalité du terrain. Il dépend de la taille de la perte de substance osseuse, de l'infection, mais aussi des dégâts des parties molles. Le défi pour les chirurgiens exerçant en milieu précaire est de tout mettre en œuvre pour que ces fractures ouvertes soient aussi bien traitées qu'ailleurs.

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de la leçon de 24 heures (par ordre alphabétique) : Raphaël Barthélémy, Bertrand Bauer, Fabrice Bazile, Eric Bey, Jean Baptiste Caruhel, Françoise Costiou, Bernard Deloynes, Patrick Duhamel, Mouhamadou Mansour Fall, Moussa Faye, Laurent Mathieu, James Murison, Fabien Nuzzaci, Modeste Ogougbémy, Sylvain Rigal.

Références bibliographiques

[1] Paré A. Quinzième livre. Des fractures des os. Paris: JF Malgaigne éditeur; Réédition 1970:1840-1.

[2] Duparc J, Huten D. Classification des fractures ouvertes. Conférence d'enseignement de la SOFCOT.Traitement des fractures récentes de jambe Paris : Expansion Scientifique Française ; 1981:62-72.

[3] Gustilo RB, Mendoza RM, Williams DN. Problems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification of type III open fractures. J Trauma 1984;24:742-6.

[4] Tiemdjo HG, Coulibaly T, Touré AA. Paediatric open tibiofibular fractures following a donkey bite: A report of two cases10.1016/j.otsr.2009.04.010.

[5] Barthélémy R. Fractures ouvertes de jambe en milieu précaire. Dév Santé 2008; 191-2.

[6] Rigal S, Tripon P, Rochat G. Le fixateur en chirurgie de guerre. In: Cahiers d'enseignement de la Sofcot n°58. Fixation externe du squelette. Paris: Expansion Scientifique Française ; 1996:277-9.

[7] Dubrana F, Genestet M, Moineau G, Gérard R, Le Nen D, Lefèvre C. Fractures ouvertes de jambe. EMC - Appareil locomoteur 2007:1-18(Article 14-086-A-20).

[8] Masquelet AC, Sales de Gauzy J, Bauer T, Fabre A, Fitoussi F, Hannouche D, Jouve JL, et al et Société française de chirurgie orthopédique et traumatologique (Sofcot). Reconstruction des pertes de substance osseuse diaphysaires d'origine traumatique. Stratégies, recommandations, perspectives. Rev Chir Orthop Traumatol 2012 Feb;98:94-103.

[9] Mathevon, A, Masquelet C, the French Society of Orthopaedic Surgery and Traumatology (SoFCOT). Bone transport techniques in posttraumatic bone defects. Orthop Traumatol Surg Res. 2012 Feb;98:103-8.

[10] Desplaces N. Antibiothérapie. In Masquelet AC. Chirurgie orthopédique, principes et généralités. Techniques chirurgicales. Paris: Éditions Masson; 2004.

[11] Gagey O, Doyon F, Dellamonica P, Carsenti-Etesse H, Desplaces N, Tancrede C, et al. Prophylaxie des infections dans les fractures ouvertes de jambe Rev. Chir. Orthop. 1999;85:328-36.

[12] Gustilo R, Anderson J. Prevention of infection in the treatment of 1025 open fractures of long bones: retrospective and prospective analysis. J Bone Joint Surg. Am. 1976 ;58:453-8.

[13] Morley J, Kossygan K, Giannoudis PV. Damage control orthopaedics: a new concept in the management of the multiply injured patient. Cur Orthop 2002;16: 362-7.

[14] Decoulx P. La place de l'amputation dans les fractures ouvertes de jambe Rev. Chir. Orthop. 1979; 65 (S2): 7-30.

[15] Masquelet A, Court C, Bégué T. Complications infectieuses des fractures de jambe, pseudarthroses suppurées et ostéites. Encycl Méd Chir (Elsevier SAS, Paris), Appareil locomoteur, 14-086-A-30, 1995:10 p.

Chaire de chirurgie appliquée aux armées

Chirurgie viscérale et générale

Intérêts et avenir de la simulation et des technologies numériques dans la formation des chirurgiens militaires

Thierry Peycru

1. Introduction

L'amélioration de la formation des chirurgiens militaires a pour but de sauver un maximum de blessés et de limiter ainsi que d'optimiser la prise en charge de leurs séquelles.

Les méthodes modernes pour transmettre les connaissances sont basées sur la simulation et l'utilisation des technologies numériques. La simulation peut être définie comme une représentation modélisée ou encore la représentation du comportement d'un processus au moyen d'un modèle matériel qui est l'image du processus étudié.

Les technologies numériques sont souvent résumées au « *e-learning* », contraction de *electronic learning*, signifiant enseignement via un média électronique.

Ce « *e-learning* » est opposé à l'enseignement face à face puisque l'apprenant fait face à une machine et ce de manière différée ou en temps réel, avec ou non l'existence d'une interaction.

Nous limiterons l'étude à l'apprentissage des chirurgiens militaires et à l'activité chirurgicale lors des opérations extérieures.

2. Place de la simulation et des technologies numériques dans la formation actuelle

2.1. Historique

Les premiers chirurgiens étaient des barbiers habitués à l'utilisation d'instruments tranchants et la transmission du savoir se faisait par le choix d'un disciple apprenant au contact les gestes par compagnonnage. La confrérie de Saint Côme au XIIIe siècle est la première association professionnelle de chirurgiens français. À l'opposé, les médecins sont alors des latinistes érudits contrairement aux chirurgiens qui ne sont que des manuels. En 1437, les membres de la confrérie de Saint Côme obtiennent le droit de suivre les cours de médecine. C'est ainsi qu'en 1691, chirurgiens et barbiers deviennent deux métiers distincts. En 1731 est créée l'Académie royale de chirurgie par Louis XV. Plus tard, Larrey, créateur des ambulances volantes, soignait les blessés au plus près sur le champ de bataille et c'est là également qu'il y enseignait la prise en charge des blessés à ses disciples.

Aujourd'hui, le chirurgien militaire a les mêmes connaissances que le chirurgien civil, mais il est de plus capable d'agir dans un contexte de guerre et ce en obéissant à des dogmes simples, comme par exemple la splénectomie d'hémostase ou encore la dérivation systématique des matières. La formation est en partie confiée aux civils, validée par des diplômes civils.

L'utilisation de la simulation est encore faible à la faculté, c'est essentiellement la dissection de cadavres qui est réalisée de moins en moins fréquemment. Il existe pourtant des diplômes intéressants mais non obligatoires permettant l'apprentissage de conduites à tenir spécifiques, comme le diplôme interuniversitaire de traumatologie viscérale.

La formation complémentaire militaire se fait quant à elle par l'apprentissage de scenarii et de tactiques chirurgicales, qui sont essentiellement basés historiquement sur la connaissance de l'anatomie et restitués par des planches. Historiquement les médecins en postes isolés étaient formés par répétition de gestes et chacun des médecins partait avec des fascicules rédigés par les agrégés du Pharo. Les plus jeunes d'entre nous ont tous le souvenir d'un ancien opérant seul avec son épouse en train de lui tourner les pages du manuel de techniques élémentaires. Ces techniques enseignées couvraient un champ très vaste allant de la césarienne à la cure de hernie inguinale, en passant par l'appendicectomie ou la splénectomie d'hémostase.

À partir de la Deuxième Guerre mondiale, la chirurgie militaire repose sur une stratégie planifiée et les réflexions sont surtout des réflexions d'ordre organisationnel, l'impératif étant la chaîne d'évacuation du Service de santé en opérations. Après la guerre du Vietnam apparaissent des rapports qui vont amener des réflexions comme un recueil de 200 plaies consécutives de la carotide encore jamais vues en pratique civile. Puis survient la guerre en ex-Yougoslavie et les chirurgiens militaires français sont à nouveau confrontés à un conflit. En 2001 se produit un tournant historique avec un nouveau type de conflit : l'Afghanistan avec médiatisation à l'extrême, blessés plus graves car mieux réanimés, concept de « zéro mort » et du « tous pour un ».

Pour s'adapter à ce nouveau type de conflit, les américains ont commencé par colliger leurs données et ont ainsi créé dès 2003 le « *Joint Theater Trauma Registry* » (JTTR) ou « *Joint Theater Trauma System* ». Les français ont mis en place un recueil identique depuis 2002 grâce à l'utilisation du fichier OPEX colligeant 16 000 comptes-rendus opératoires (Kaboul, N'Djamena, Kosovo, Côte d'Ivoire).

À partir de leurs données, les américains ont créé un algorithme qui doit leur permettre de s'améliorer continuellement en utilisant et en se basant sur l'expérience du terrain.

2.2. Formation actuelle d'un interne

La formation comprend un examen classant national, le choix de spécialité, puis l'apprentissage à la faculté avec une maquette polyvalente comprenant pour les

militaires trois stages en dehors de la spécialité de chirurgie générale. L'apprentissage est essentiellement théorique mais agrémenté d'une formation complémentaire sur le plan militaire par un stage outre-mer de deux mois, la validation des modules du Cours avancé de chirurgie des missions extérieures (CACHIRMEX) et un exercice de simulation qu'est l'EXOSAN.

La formation actuelle des internes s'appuie peu sur les technologies numériques alors que la masse d'informations disponibles est énorme grâce aux bases de données bibliographiques de type Pubmed et la généralisation de l'accès à l'internet. Websurg a été le premier site à être très largement documenté, proposant en ligne de nombreuses interventions filmées et commentées. L'utilisation actuelle des technologies numériques dans la formation des militaires est plutôt celle d'une base de données documentaire, utilisant plutôt le support numérique pour avoir à sa disposition en permanence de nombreux documents numériques tels que les fichiers en pdf de l'Encyclopédie médico-chirurgicale.

En 2007, le Médecin chef des services F. PONS a créé le CACHIRMEX qui comprend cinq modules insistant sur les particularités de la chirurgie militaire et de l'exercice chirurgical en situation précaire. Cet enseignement se base sur des retours d'expérience (RETEX), des cas cliniques, des exercices pratiques, un apprentissage de la stratégie. Il est complété par des travaux pratiques sur cadavres ou réacteurs biologiques. La validation de ces modules est dorénavant obligatoire dans le cadre du développement professionnel continu et implique ainsi une mise à jour régulière.

L'EXOSAN est quant à lui l'exercice d'opération sanitaire qui concerne tous les médecins militaires. Il se déroule à la Valbonne, dans le Centre de formation opérationnelle santé (CeFOS) et permet l'application de scenarii et de mises en œuvre en situation fictive d'afflux massif de blessés et de déploiement du matériel. Ceci est également complété par les différentes mises en condition préparatoires qui permettent ainsi d'anticiper, avant même l'arrivée sur un théâtre d'opération extérieure, et d'apprendre à gérer des pertes massives grâce à des exercices de simulation (par exemple, plan MASCAL pour « *mass casualty*»).

Depuis 2001, les autres armées (USA, UK et Allemagne) concluent toutes à la nécessité de validation des gestes avant pratique et de formations complémentaires calquées sur le civil (nombreuses publications de RETEX). Nous appuyons ces modalités de formation par deux exemples de chirurgiens militaires qui illustrent la variété de la pratique militaire.

Le premier exemple est celui d'un Assistant des Hôpitaux des armées exerçant à l'Hôpital d'instruction des armées Robert Picqué, à Bordeaux, depuis 2006. Après avoir validé son DES et son DESC de chirurgie viscérale et digestive, il valide les modules du CACHIRMEX. Spécialiste et chirurgien en antenne chirurgicale depuis 2012, il part au Mali en février 2013 où il déploie l'antenne et prend en charge de nombreux blessés par balle, que ce soit au niveau des membres avec son confrère orthopédiste et donc procède à la mise en place d'exo-fixations, ou qu'il s'agisse de

plaies abdominales également par balle nécessitant la réalisation de laparotomies d'hémostase en urgence.

Le deuxième exemple est celui d'un Assistant en 2003 qui, après avoir validé son DES puis son DESC d'orthopédie et les modules du CACHIRMEX, est affecté à Djibouti en 2011 où il devra, en situation isolée, réaliser des césariennes et des actes neurochirurgicaux, notamment pédiatriques, comme le drainage d'un hématome extradural. En janvier 2012, il prendra en charge des blessés français à l'hôpital de Kaboul et il réalisera notamment une sternotomie pour plaie du cœur.

Nous retiendrons donc qu'en l'état actuel des choses les technologies numériques sont limitées au stockage, que la simulation est efficiente et utilisée régulièrement dans la formation des chirurgiens militaires et que troisièmement la polyvalence du chirurgien militaire généraliste est indispensable à sa pratique hors métropole.

3. Intérêts de la simulation et des technologies numériques

3.1. Intérêts de la simulation

La simulation trouve son intérêt dans tous les domaines d'activité sensibles où l'on n'a pas le droit à l'erreur mais au contraire où l'on est soumis à obligation de résultat. Un exemple type est l'aéronautique, pionnière dans ce domaine, où on peut distinguer trois niveaux de CRM : « *Cockpit Resource Management* » ou « *Crew Resource Management* » ou encore « *Crisis Resource Management* ». L'autre exemple est celui bien connu de la prise d'otages de Marignane lors du vol AF 8969 en décembre 1994, lorsque la simulation a permis au GIGN de préparer l'intervention en conditions réelles grâce à la reconstitution de l'environnement notamment dans le cockpit et la cabine de l'appareil.

Que peut-on simuler en chirurgie ? Trois domaines sont envisageables : le geste technique, l'indication chirurgicale et l'environnement.

La simulation du geste technique peut être conventionnelle ou numérique, simulation conventionnelle sur cadavres ou sur réacteurs biologiques. Ce sont les seuls outils adaptés disponibles actuellement pour la simulation du geste technique. La simulation numérique s'inscrit dans la formation spécifique des chirurgiens digestifs et il s'agit notamment de démonstrations de techniques opératoires laparoscopiques ou encore de possibilités d'opérer virtuellement grâce à des *pelvi-trainers*. Cette simulation numérique représente un intérêt certain pour la formation spécialisée des internes, mais elle est inadaptée dans la formation actuelle des chirurgiens militaires car la pratique de la chirurgie de guerre est une chirurgie ouverte qui utilise la main, le bistouri, l'aspiration et les clamps et qui doit faire réaliser des gestes d'urgence de base, d'hémostase, de coprostase ou encore d'aérostase. L'intérêt de la simulation pour le geste technique est d'acquérir une attitude standardisée reproductible pour des gestes

d'exception, non réalisés et non réalisables au quotidien dans nos Hôpitaux d'instruction des armées (HIA). L'exemple type est représenté par la plaie du cœur.

Le deuxième domaine de la simulation est l'indication chirurgicale. Cette simulation permet d'appréhender ainsi toutes les situations possibles et de poser l'indication chirurgicale adaptée. Un exemple type est le QCM.

Enfin le troisième domaine de la simulation concerne l'immersion dans l'environnement avec toutes les particularités de l'opération extérieure, en situation dégradée, avec un niveau de stress élevé augmenté par la possibilité d'afflux massifs de blessés. Cette simulation permet ainsi aux chirurgiens militaires d'acquérir la polyvalence nécessaire à la gestion des différentes situations d'urgence à prendre en charge sur le terrain.

Ces domaines de compétences s'étendent à l'appareil digestif, à la traumatologie, à la chirurgie thoracique, à la chirurgie vasculaire, à l'urologie. Le fichier OPEX a permis notamment, au travers du recueil épidémiologique obtenu à Kaboul, de pouvoir identifier et lister les différentes procédures chirurgicales qu'un chirurgien militaire doit maîtriser. D'autre part, la polyvalence en opération extérieure consiste également en la pratique de l'aide médicale aux populations incluant donc la pédiatrie ainsi que la gynécologie et l'obstétrique, disciplines non généralisées en métropole dans nos HIA.

La simulation permet par ailleurs aux chirurgiens de s'entraîner autant de fois qu'ils le souhaitent, sans aucun danger pour le patient, et ceci est d'ailleurs devenu un dogme aux États-Unis et au Canada où le chirurgien n'exerce jamais une première intervention sur un être vivant.

Parallèlement à l'aéronautique, la simulation a un intérêt essentiel dans la formation à la fois dans le développement professionnel continu mais également dans la remise à niveau des chirurgiens. Par exemple, avant chaque départ en OPEX comme c'est le cas actuellement aux États-Unis et en France, l'ensemble des personnels de santé projetés sur un théâtre sont remis à niveau.

Cependant, la simulation présente des limites, tout d'abord en terme de coût puisque ceci est relativement onéreux. Un cadavre coûte en règle générale 1 100 euros auxquels il faut ajouter les frais de déplacement et le temps des équipes chirurgicales. Un mannequin SimMan coûte environ 50 000 euros, la fourchette de prix allant de 35 000 à 200 000 euros. En règle générale, les modules de CACHIRMEX coûtent à notre institution 5 000 euros par étudiant.

La deuxième limite est bien sûr une limite en termes de temps, de déplacement et de durée des formations. Le CACHIRMEX comporte cinq sessions de trois jours.

Enfin la simulation doit bien rester un outil complémentaire mais ne pourra jamais se substituer aux bases de la chirurgie, qui sont bien entendu dominées par la connaissance théorique de l'anatomie et la pratique par le compagnonnage assurant l'apprentissage des gestes.

Cette simulation doit donc rester conventionnelle pour l'acquisition des gestes

techniques. Les simulations numériques trouvent tout leur intérêt dans la simulation du choix des indications et de l'immersion en environnement hostile.

3.2. Intérêt des technologies numériques

Tout d'abord le support de stockage présente de nombreux avantages. Il est compact, léger, transportable, consultable en tout lieu, permettant ainsi une grande densité de données, informations qui seront disponibles même en l'absence de connexion internet.

L'internet permet de plus de récupérer une documentation exhaustive qui représente une masse de données phénoménale. Le deuxième intérêt de l'internet est l'accès Webcast autorisant ainsi une formation à distance sans aucune contrainte de lieu ni de temps.

Un recueil de données épidémiologiques prospectives peut être réalisé en temps réel de manière exhaustive grâce à l'internet. Ces données ont été colligées par toutes les nations de la coalition en Afghanistan, mais sans mise en commun pour le moment de ces informations. À titre d'exemple, le recueil prospectif épidémiologique du SSA regroupé sous le terme de fichier OPEX a débuté en 2002. Il comprend environ 16 000 comptes rendus opératoires : 3 500 ont été réalisés à Kaboul, 6 300 à N'Djamena, 1 600 au Kosovo, 2 200 en République de Côte d'Ivoire ; 13 000 ont été réalisés en chirurgie réglée, environ 3 000 en urgence.

Les limites de ces technologies numériques sont bien entendu la multitude d'informations disponibles par ce biais qui peut desservir l'étudiant à cause d'une trop grande abondance d'informations. C'est le problème d'un classement adapté de ces données par une gestion documentaire qu'il faut alors maîtriser.

On retiendra donc que la simulation est un outil aussi adapté que l'« *e-learning* » à la formation des chirurgiens militaires. Il faut consolider le développement de la simulation car elle répond aux exigences de la chirurgie générale pour les chirurgiens militaires. C'est une nécessité stratégique.

Les outils numériques sont également indispensables pour le Service de santé des armées. Ils permettent de s'affranchir de la nécessité de multiples spécialistes d'organes. Nos chirurgiens peuvent ainsi acquérir et entretenir les compétences polyvalentes indispensables à un exercice en situation précaire ou de conflit.

Ces techniques permettent également une immersion en situation d'exception et il peut s'agir réellement d'une nécessité stratégique pour le Service de santé des armées puisque seulement un voire deux chirurgiens peuvent réaliser une multitude de gestes.

4. Perspectives d'avenir et propositions

4.1. Pespectives d'avenir dans le domaine de la simulation

La simulation en chirurgie d'urgence se décline en décisions thérapeutiques, gestes techniques et management de l'équipe. Nous pouvons imaginer la constitution de bases

de données de cas cliniques vécus, reformatées de façon didactique sous la forme de QCM destinés à standardiser les stratégies de prise en charge chirurgicale dans le cadre de la chirurgie de guerre.

Afin de simuler la prise de décision thérapeutique en conditions proches du réel, on pourrait imaginer la création d'infrastructures reproduisant les différents théâtres d'opérations comme ici une antenne chirurgicale, d'où l'intérêt du CeFOS installé sur le site de la Valbonne.

Comme ceci est fait lors du CACHIRMEX, il faut promouvoir l'utilisation de cadavres pour l'apprentissage des procédures chirurgicales d'urgence. La création de modèles cadavériques a été étudiée par Abou Dehal (J Trauma, 2011). Il reproduit une circulation dans les gros vaisseaux après canulation d'artères fémorales et carotides ainsi que des troncs veineux. L'ensemble est connecté à un système de pompe qui permet d'obtenir un flux pulsatile au niveau des gros vaisseaux. Ceci a pour intérêt d'avoir des tissus à peu près vascularisés et de réaliser de la chirurgie orthopédique, de la neurochirurgie ainsi que l'exploration de la cavité abdominale dans des conditions proches de la réalité.

De la même manière, des mannequins sont utilisés pour le *training* des internes de chirurgie dans les « *Trauma Centers* » américains et on peut imaginer l'utilisation de mannequins spécialement adaptés aux gestes chirurgicaux d'urgence comme dans le contrôle des grandes hémorragies.

Aujourd'hui c'est essentiellement le modèle porcin qui est utilisé et il n'est pas optimal dans la mesure où sur le plan digestif il présente un mésentère commun, une rate pédiculisée et un foie polylobé. Il faudrait vraisemblablement envisager de privilégier l'utilisation d'autres modèles tels que la brebis.

L'objectif de mettre en ambiance de stress toute une équipe de santé peut être réalisé par l'utilisation de jeux de rôle ou « *serious games* » en formalisant ainsi différents scenarii (IED, MASCAL…) et en faisant évoluer ces scenarii en fonction des théâtres (Mali, Afghanistan…) et du type de structure (Hôpital médico-chirurgical, *Role 2*, Module de chirurgie vitale).

Le management des personnels pourra être réalisé par une inclusion de l'exercice EXOSAN dans un des modules du CACHIRMEX afin de mettre en condition les chirurgiens en fin de cursus dans le cadre d'un exercice de triage en conditions réelles. Ceci est d'ailleurs actuellement appliqué dans le CACHIRMEX Antenne.

4.2. Technologies numériques

La création d'une plateforme internet dédiée à la formation des chirurgiens militaires selon le modèle des universités américaines pourrait ainsi permettre de proposer des cours théoriques, MOOC (cours en ligne massifs et ouverts) issus des différents enseignements actuels de la chirurgie traumatologique (CACHIRMEX, ATLS, *NATO & Book, US Military Manuals*). Ceci pourrait être complété par la création d'examens en ligne.

Il pourrait être également possible de visualiser des films et des techniques de chirurgie traumatologique, notamment dans différentes spécialités (urologique, gynécologique, neurochirurgicale…).

Un accès libre aux principales revues de chirurgie traumatologique est souhaitable, afin de permettre un accès aux articles de référence et aux différentes avancées technologiques (*Journal of Trauma and Acute Care Surgery, Injury*…).

Cette plateforme permettrait également de compléter et d'éditer des recommandations à la manière de l'*Institute of Surgical Research* (ISR) par les différents référents de spécialités. Comme cela a déjà été développé en neurochirurgie, d'autres référents pourraient être également joignables soit par internet soit de manière téléphonique pour constituer une aide aux chirurgiens en situation isolée, notamment en chirurgie thoracique, gynécologique, urologique, vasculaire ou encore pédiatrique.

Cette plateforme hébergerait par ailleurs le registre d'activité OPEX (équivalent français du JTTR), et serait accessible par tous les chirurgiens militaires de manière sécurisée afin de garantir la confidentialité des données dans un cadre légal, respectant les recommandations de la Commission nationale informatique et libertés).

L'utilisation de moyens portatifs tels qu'une tablette numérique pourrait permettre au chirurgien en situation précaire de transporter avec lui l'intégralité des cours théoriques et des recommandations. On pourrait même envisager une mise à jour par synchronisation automatique avec cette plateforme dès que l'internet serait disponible. Ceci permettrait d'avoir accès à l'information mais également d'enregistrer les données des dossiers cliniques et ainsi donc d'améliorer la qualité et l'exhaustivité prospectives du recueil épidémiologique. En zone hors connexion, le stockage de données serait effectué sur la tablette qui se synchroniserait de manière automatique pour mettre à jour le fichier OPEX au retour du chirurgien en métropole.

Des applications pourraient être développées telles que le projet de dissection au doigt ou encore de reconstitution de trajet projectilaire. L'ensemble de ces applications pourrait s'adresser aux chirurgiens militaires d'active, de réserve, des armées étrangères mais également aux professionnels de la BSPP, de la sécurité civile, du PGHM , diminuant ainsi nos coûts de développement.

Ce développement pourrait déboucher sur un partenariat notamment avec l'université Lyon I dans le cadre du programme « Stratégies d'apprentissage des métiers de santé en environnement immersif (SAMSEI) », projet destiné à promouvoir les programmes pédagogiques innovants et doté d'un budget conséquent dans le cadre « du Grand emprunt lancé par le ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche ».

L'ensemble de ces moyens permettrait ainsi de contribuer à la validation de la certification initiale obligatoire avant un départ en opération extérieure et permettrait ainsi de conforter la légitimité des praticiens en dehors de leurs domaines de spécialité.

Ces différentes avancées permettraient aussi le développement professionnel

continu, dorénavant obligatoire.

L'amélioration des pratiques chirurgicales après utilisation des données et du recueil épidémiologique a été démontrée par l'armée américaine et nous devons nous en inspirer afin de faire évoluer nos pratiques, mais également inciter aux publications par la constitution de bases de données dont l'analyse permettrait ainsi de valoriser notre activité.

5. Conclusion

On retiendra avant tout le caractère ambivalent de notre formation : une hyperspécialisation de chirurgie d'organe pour assurer un service public de qualité dans les HIA en métropole, à concilier avec la possibilité de demeurer un chirurgien polyvalent et de l'urgence, toujours plus performant en opération extérieure.

La formation est (et a toujours été) un sujet permanent de préoccupation pour le Service de santé des armées. Nous en avons une solide expérience, un savoir faire reconnu en termes de simulation. Il faut les conserver et les enrichir. En ce qui concerne le « *e-learning* » et les autres technologies numériques, nous devons profiter de leur essor et ne pas prendre de retard dans leur maîtrise et leur emploi.

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de la leçon de 24 heures (par ordre alphabétique) : Antoine Bertani, Nicolas Biance, Stéphane Bonnet, Marie Coisy, Julien Jarry, Antoine Schwartz, Éric Tardat.

Chaire de chirurgie appliquée aux armées

Chirurgie thoracique

Thoracotomie de ressuscitation en chirurgie de guerre

Jean-Philippe Avaro

1. Introduction

La thoracotomie de ressuscitation est une procédure de sauvetage en traumatologie grave. Cette technique consiste, en cas de traumatisme sévère responsable d'un choc hémorragique non contrôlé par les moyens classiques de la réanimation, à ouvrir le thorax et à réaliser une succession de gestes standardisés visant à rétablir la volémie dans les territoires cardiaque et cérébral. En cas de succès, le patient provisoirement réanimé, peut alors être conduit au bloc opératoire pour réaliser l'hémostase définitive des lésions responsables du choc hémorragique.

La thoracotomie de ressuscitation a retrouvé une place dans les algorithmes de prise en charge des traumatisés sévères depuis l'avènement du concept de *Damage control resuscitation*. Néanmoins la littérature scientifique continue à débattre de ses indications et de son efficacité [1]. En pratique civile, il est admis qu'elle est le plus utile dans les traumatismes pénétrants du tronc chez des patients présentant un choc hémorragique réfractaire associé soit à des signes de vie persistants, soit à une réanimation cardio-respiratoire débutée moins de quinze minutes avant sa réalisation.

Le concept du *Damage control resuscitation* est également le paradigme de la prise en charge des blessés de guerre [2]. La question peut donc se poser de la faisabilité et de l'utilité de la thoracotomie de ressuscitation en chirurgie de guerre en tenant compte des moyens déployés sur les théâtres d'opération dans les structures de *Roles 2* et *3* et des impératifs opérationnels notamment d'évacuation tactique.

Nous proposons de rappeler quels sont les moyens du soutien chirurgical des forces en opération, avant d'étudier les bases factuelles de la thoracotomie de ressuscitation puis d'expliquer les modalités de la réalisation de cette procédure.

2. Le soutien chirurgical des forces

La cible du soutien chirurgical de l'avant est le blessé hémorragique potentiellement sauvable par un geste rapide d'hémostase.

Le combat du Service de santé en opération contre l'hémorragie s'inscrit dans une chaine cohérente mise en œuvre dans les minutes qui suivent la blessure et visant à mettre le blessé entre les mains de l'équipe chirurgicale dans l'heure qui suit. C'est la transposition en chirurgie de guerre du concept de *Damage control resuscitation*.

Ce concept repose sur la lutte contre la physiopathologie du choc hémorragique. Le choc hémorragique est une insuffisance circulatoire aiguë liée à une diminution brutale de la masse sanguine circulante. L'hypoperfusion tissulaire, à l'origine d'une

inadéquation entre les apports et les besoins en oxygène, est responsable d'une anoxie cellulaire. Les mécanismes adaptatifs entraînent une déviation anaérobie du métabolisme aboutissant à une acidose lactique [3].

Initialement, le choc hémorragique est compensé. La soustraction sanguine est responsable d'une baisse du retour veineux, d'un effondrement des pressions de remplissage et donc d'une baisse du débit cardiaque. Trois mécanismes vont concourir au maintien de la perfusion tissulaire cérébrale et cardiaque. La mise en œuvre du système baro-réflexe et la stimulation sympathique du système nerveux autonome entraînent une tachycardie et une augmentation des résistances artérielles dans les territoires non vitaux (rein, tube digestif, muscles). Le système rénine angiotensine est activé pour augmenter la réabsorption hydrosodée et permettre le maintien de la volémie. À ce stade, l'ischémie des territoires hypoperfusés se traduit par l'installation d'une réponse inflammatoire avec la sécrétion de cytokines et par l'activation métabolique de la voie énergétique des pyruvates, source d'une acidose lactique anaérobie [4].

La poursuite du choc hémorragique au-delà de 40 % du volume sanguin théorique aboutit au dépassement des mécanismes d'adaptation, concomitant de l'aggravation de la réponse inflammatoire et de l'acidose lactique. Le choc devient décompensé avec installation du cercle vicieux de Moore (*bloody vicious circle*) : hypothermie, acidose, troubles de la coagulation [5]. Cette coagulopathie est liée à la diminution brutale des facteurs de coagulation du fait de la fuite sanguine et de leur consommation pour tenter d'obtenir un clou hémostatique. Elle débute très précocement après le traumatisme et est secondairement aggravée par l'acidose et l'hypothermie responsables d'une inhibition enzymatique de l'agrégation plaquettaire [6]. Elle peut également être majorée par un remplissage vasculaire important responsable d'une dilution. Le choc hémorragique est finalement réfractaire et responsable du décès.

Chez le blessé de guerre hémorragique, tout est mis en œuvre pour éviter la mise en place de la triade létale de Moore. Ainsi les combattants les plus proches du blessé et les auxiliaires sanitaires vont mettre en œuvre les techniques de sauvetage au combat, en neutralisant les hémorragies extériorisées, en évitant d'aggraver les hémorragies internes et en luttant précocement contre l'hypothermie. Les médecins de l'avant vont appliquer une procédure standardisée : le SAFE MARCHE RYAN. Il s'agit d'une séquence hiérarchisée, chaque lettre de cet acronyme correspondant à une évaluation et un geste capital facilitant la survie du blessé jusqu'à l'échelon suivant. L'évacuation tactique précoce le plus souvent héliportée et médicalisée obéit aux mêmes principes de prise en charge. Le blessé hémorragique arrivant à l'échelon chirurgical pourra alors bénéficier si besoin d'une transfusion massive et d'un premier geste chirurgical avant évacuation stratégique pour traitement définitif selon le concept du *Damage control surgery.*

En 2014, pour mettre en œuvre ce concept de prise en charge du blessé de guerre hémorragique, le Service de santé des armées dispose de trois types de structures chirurgicales projetables.

Le Module de chirurgie vitale (MCV) regroupe une équipe de chirurgie vitale et un lot dédié. L'équipe est composée d'un chirurgien généraliste, d'un anesthésiste-réanimateur, d'un infirmier de bloc opératoire et d'un infirmier anesthésiste. Le lot matériel comporte une version minimaliste d'une unité de déchoquage et d'un bloc opératoire permettant de réaliser théoriquement toute intervention d'urgence vitale ou fonctionnelle. Avec un volume de 4 m^3 pour un poids d'une tonne, le bloc peut être opérationnel en moins d'une heure et ré intégré en moins de trois heures. L'empreinte logistique est donc très faible. La livraison par air est possible. Le déploiement dans un avion tactique ou dans un bâtiment de la marine nationale est également réalisable. Sans capacité d'hospitalisation ni de stérilisation, le MCV est déployé pour des périodes courtes en soutien de quelques dizaines d'hommes engagés dans des actions à haute intensité avec élongations prolongées. Depuis deux ans le MCV a soutenu des actions des forces spéciales au Mali et en République Centrafricaine.

L'Antenne chirurgicale aérotransportable ou parachutiste (ACA ou ACP) correspond à la norme *Role 2* de l'OTAN. Il s'agit d'une unité constituée de douze personnes, dont deux chirurgiens et un anesthésiste réanimateur. L'antenne compte un bloc opératoire et une unité de déchoquage, elle peut assurer sa stérilisation, est dotée d'une banque du sang et d'une unité d'hospitalisation de douze lits dont deux de réanimation. Héritière des ambulances de Larrey créées pendant les premières guerres républicaines en 1792, son concept moderne date de la guerre d'Indochine. Utilisée par les armées françaises dans tous les conflits depuis cette époque, la dernière révision de la dotation a été réalisée en 2005. Le lot initial actuel pèse environ sept tonnes pour une trentaine de mètres cubes. Elle peut être déployée en quelques heures et réintégrée en une journée. Depuis les années 2000, elle est le plus souvent couplée à un moyen d'évacuation tactique héliporté.

L'Hôpital médico-chirurgical (HMC) ou *Role 3* de la terminologie OTAN n'a été déployé récemment qu'en Afghanistan. Il s'agit d'un hôpital multidisciplinaire comportant une unité d'accueil des urgences, un scanner multibarettes, un service de réanimation, trois blocs opératoires, un service d'hospitalisation. Cent vingt personnes sont nécessaires au fonctionnement de cette unité déployée à Kaboul dans une infrastructure construite pour l'occasion. Très proche d'un hôpital métropolitain, ce type de structure permet de recevoir soit directement des blessés en provenance des zones de combat en s'inscrivant dans une stratégie de *damage control*, soit de prendre en charge des blessés qui ont été opérés quelques heures plus tôt dans une structure de *Role 2* et de poursuivre leur réanimation tout en programmant la suite de la séquence chirurgicale de traitement. Des gestes de chirurgie spécialisée sont possibles au *Role 3* : neurochirurgie, ORL, chirurgie maxillo-faciale, chirurgie ophtalmologique.

Dans ces trois types de structures chirurgicales, il est possible de réaliser une thoracotomie de ressuscitation. Les chirurgiens militaires français sont par ailleurs tous formés à cette technique. La question est de savoir si l'utilisation de cette procédure dans le cadre de la chirurgie de l'avant est réaliste.

3. Bases factuelles de la thoracotomie de ressuscitation

La thoracotomie de ressuscitation est définie comme une thoracotomie de sauvetage réalisée en dehors du bloc opératoire sur un blessé considéré comme agonique.

Les buts de cette procédure sont :

- arrêter l'hémorragie : clampage aortique, cardiomyoraphie, contrôle vasculaire intra thoracique ;
- réamorcer la pompe cardiaque : péricardotomie, massage cardiaque interne ;
- prévenir l'embolie gazeuse : clampage du hile pulmonaire, gestes d'aérostase.

Les indications édictées par l'*American College of Surgeons* sont [7] :

- l'arrêt cardio respiratoire réanimé depuis moins de 15 minutes ;
- le blessé agonique présentant au moins un des signes de vie suivants : réponse pupillaire, ventilation spontanée, pouls carotidien, mouvement des extrémités, activité cardiaque électrique.

Dans ces conditions, les résultats en pratique civile sont rapportés dans le tableau 1 retrouvant jusqu'à 30 % de survie dans les cas les plus favorables.

	Traumatismes thoraciques		Plaies cardiaques	Atteintes neurologiques
	Fermés	Pénétrants		
Séries		42	46	14
Blessés		7 035	1 165	4,520
	2 193	4 482		
Survie		7,83 %	31,1 %	5 %
	1,6 %	11,16 %		
Séquelles				15 %

Tableau 1.
Résultats des thoracotomies de ressuscitation en pratique civile.

Les taux de survie les plus élevés sont obtenus dans la prise en charge des traumatismes pénétrants du thorax, notamment chez les blessés, victimes de plaies cardiaques par arme blanche, et qui présentent encore des signes de vie à l'arrivée à l'hôpital [8].

En pratique militaire, trois expériences peuvent être exploitées.

Une première série américaine étudie de manière rétrospective les résultats sur la survie et les séquelles chez 101 blessés au combat dont 97 % par plaies pénétrantes. Le taux de survie globale est de 11 % et le taux d'absence de séquelles neurologiques chez les survivants est de 51 % [9].

Une étude anglaise chez 62 blessés dont l'évacuation tactique a duré en moyenne

70 minutes évalue le taux de survie à 32 %. En revanche, aucun survivant n'est retrouvé dans le sous-groupe des blessés qui ont fait un arrêt cardio-respiratoire pendant l'évacuation [10].

L'expérience française collige 8 thoracotomies de ressuscitation parmi 101 blessés du tronc avec un taux de survie de 25 %. Les durées d'évacuation primaire étaient comprises entre 35 et 220 minutes.

Au total, en dépit de délais de prise en charge pré hospitalière plus longs qu'en pratique civile en raison des conditions opérationnelles, les taux de survie des blessés ayant bénéficié d'une thoracotomie de ressuscitation sont équivalents. La transposition de cette procédure en pratique chirurgicale de guerre paraît donc envisageable, à condition de bien en définir les limites.

Ainsi, dans une structure de *Role 3* ou de *Role 2* (non isolée), en cas de prise en charge d'un blessé unique victime d'un traumatisme pénétrant, agonique ou réanimé pour un arrêt cardio-respiratoire depuis moins de 30 minutes, la réalisation d'une thoracotomie de ressuscitation est recommandée. Il faut pour cela avoir préparé l'équipe médico-chirurgicale et intégré la procédure aux algorithmes de déchoquage.

4. Comment réaliser une thoracotomie de ressuscitation ?

La procédure ne peut pas être improvisée. Elle doit être connue de toute l'équipe et validée lors de la prise en charge par le duo médecin anesthésiste et chirurgien.

La figure 1 montre le matériel nécessaire qui doit être conditionné dans une boîte stérile dédiée et présente dans le chariot de déchoquage.

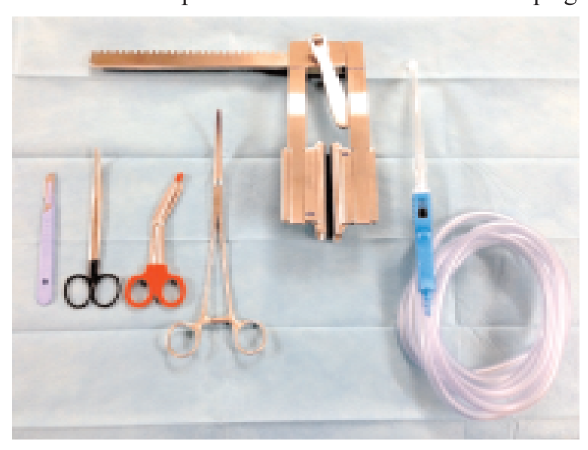


Figure 1.
Matériel.

4.1. Installation

Le blessé doit au moins avoir bénéficié de la mise en place d'une sonde d'intubation trachéale et d'un accès intraveineux ou intra osseux pour poursuivre la

réanimation cardio respiratoire en toute sécurité. Le patient est laissé en décubitus dorsal sur la table de déchoquage les bras écartés du corps. À ce stade extrême de l'urgence, l'asepsie se limite au badigeonnage sommaire de la paroi par une solution antiseptique.

4.2. Voie d'abord

La voie d'abord est une thoracotomie antérolatérale gauche au 4e espace intercostal ou mieux une bi-thoracotomie antérolatérale réunie par une sternotomie horizontale (figure 2).

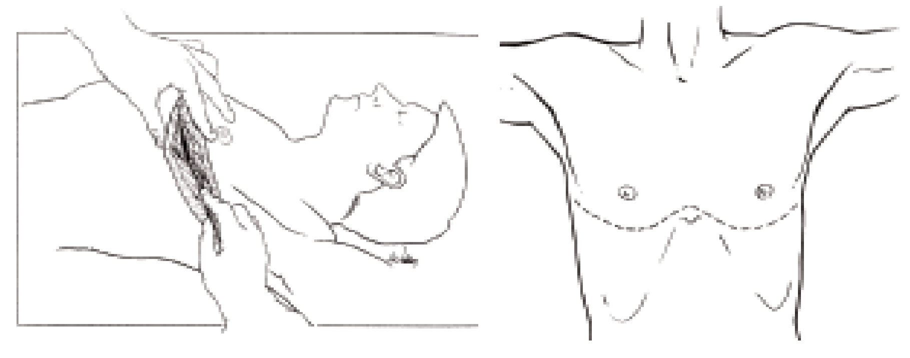


Figure 2.
Voies d'abord.

L'incision de la paroi se fait de la peau à la paroi osseuse du thorax en sectionnant les muscles grands pectoraux et grands dentelés de manière très rapide.

La pénétration de la plèvre se fait plus prudemment aux ciseaux aux bords supérieurs des 5e côtes, puis le muscle intercostal est désinséré de la 5e côte le plus possible en arrière et en avant en sectionnant les pédicules mammaires internes qui seront liés secondairement.

Une tunnelisation rétrosternale au doigt est réalisée entre les deux thoracotomies et la section horizontale du sternum est menée aux ciseaux à plâtre. Un écarteur à crémaillère est mis en place entre les deux tranches sternales (figure 3).

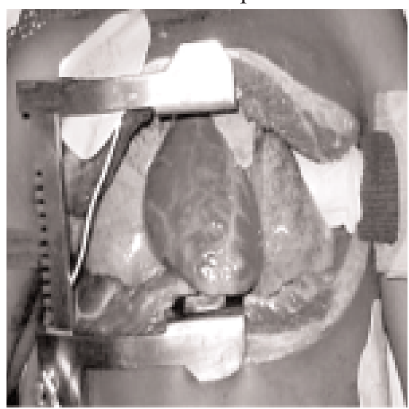


Figure 3.
Exposition.

Gestes chirurgicaux :

La séquence chirurgicale est standardisée et comprend successivement [11] :

- levée d'une tamponnade par péricardotomie ;
- massage cardiaque interne ;
- contrôle d'une hémorragie cardiaque ;
- clampage de l'aorte thoracique descendante ;
- contrôle du hile pulmonaire ;
- contrôle d'une hémorragie intra-thoracique.

L'ouverture du péricarde est médiane et verticale pour respecter les deux nerfs phréniques.

Elle permet la levée d'un épanchement compressif et la réalisation si nécessaire d'un massage cardiaque interne qui devra être réalisé entre les deux paumes de la main pour répartir uniformément les pressions sur les deux ventricules.

Le contrôle temporaire d'une hémorragie cardiaque peut être réalisé par pression digitale, relayée par la mise en place dans l'orifice d'une sonde de Foley dont le canal d'évacuation est clampé et le ballonnet gonflé au sérum physiologique. Ainsi maintenue en traction par l'aide opératoire, le chirurgien peut se préparer à la réalisation d'une cardiomyoraphie.

Le clampage de l'aorte thoracique descendante peut être nécessaire en cas de pression artérielle moyenne inférieure à 60 mm de mercure malgré la poursuite du remplissage et des amines vaso-actives. La main droite de l'opérateur palpe le rachis dorsal et ouvre la plèvre médiastinale en avant de ce dernier par digitoclasie atraumatique, la main gauche de l'aide assure une traction vers le haut du lobe pulmonaire inférieur gauche. L'aorte est d'abord clampée entre deux doigts de l'opérateur qui sont ensuite remplacés par un clamp vasculaire.

Le contrôle et le clampage d'un hile pulmonaire sont indiqués en cas d'hémorragie non contrôlable du parenchyme ou en cas de suspicion d'embolie gazeuse. Comme pour le clampage aortique, l'aide exerce une traction vers le haut du lobe inférieur, mettant en tension le ligament triangulaire qui est alors sectionné au ciseau au ras du poumon jusqu'au bord inférieur de la veine pulmonaire inférieure. Le contrôle du hile pulmonaire de bas en haut en bloc peut être alors réalisé par un clamp vasculaire.

Les hémorragies intra thoraciques sont contrôlées par ligature ou suture pour les artères, et par « *packing* » en cas d'hémorragie diffuse du sommet du thorax ou du cul-de-sac diaphragmatique. En revanche, un tamponnement du médiastin n'est pas réalisable en raison de la pression que l'on exercerait sur les cavités cardiaques.

Une fois cette succession de gestes réalisés en fonction du bilan lésionnel et si le patient a survécu, la chirurgie se poursuit par une procédure écourtée et une fermeture sans drainage par un dispositif de thérapie par le vide réalisant une thoracostomie provisoire en attente de la chirurgie définitive.

5. Conclusion

La thoracotomie de ressuscitation est une procédure qui a toute sa place en chirurgie de l'avant, intégrée dans une prise en charge échelonnée de type *damage control resuscitation*. Ses indications et sa technique doivent être enseignées lors de la formation initiale et continue des chirurgiens projetables. Cet enseignement doit comprendre un versant théorique et un versant pratique qui doit associer pratiques hospitalières et entraînement sur sujets anatomiques et simulateurs.

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de la leçon de 24 heures (par ordre alphabétique) : Beranger Fabien, Boddaert Guillaume, Cazeres Christophe, de Lesquen du Plessis Casso Henri, Doddoli Christophe, Giraud Pierre-Yves, Goin Géraldine, Grand Bertrand, Peloni Jean-Michel, Thefenne Laurent, Thouard Hervé.

Références bibliographiques

[1] Moore EE, Knudson MM, Burlew CC and al. Defining the limits of resuscitative emergency department thoracotomy: a contemporary western trauma association perspective. J Trauma 2011; 70: 334-9.

[2] Hodgetts TJ. Damage control resuscitation. J R Army Med Corps 2007;153:299-300.

[] Dutton RP. Current concepts in hemorrhagic shock. Anesthesiol Clin 2007; 25(1):23-34.

[4] Keel M, Trentz O. Pathophysiology of polytrauma. Injury 2005; 36(6): 691-709.

[5] Moore FA, McKinley BA, Moore EE. The next generation in shock resuscitation. Lancet 2004 ; 363(9425):1988-96.

[6] Floccard B, Rugeri L, Faure A, and al. Early coagulopathy in trauma patients: an on-scene and hospital admission study. Injury 2010; 25: 251-54.

[7] Working group. Practice management guidelines for emergency thoracotomy. J Am Col Surg 2001; 3: 325-31.

[8] Soreide K and al. Scan J of Surg 2007; 96:4-10.

[9] J W Edens, A C Beekley, K K Chung. Longterm outcomes after combat casualty emergency department thoracotomy. J American Col of Surg 2009; 209:188-97.

[10] Morrison JJ and al. Emergency War Thoracotomy. J Trauma 2013; 74(3): 825-9.

[11] Hirshberg A and Mattox K. Thoracic vascular trauma for the general surgeon. InTop knife (Ed Allen, 2005):181-98.

Chaire de chirurgie appliquée aux armées

Chirurgie urologique

La chirurgie robotique : état actuel et perspectives au sein du Service de santé des armées

Xavier Durand

1. Introduction

La robotique médicale et de santé est aujourd'hui au cœur de l'industrie robotique de service, comme en témoigne de manière spectaculaire le 3e salon international de la robotique, Innorobo, qui s'est tenu à Lyon en mars 2013.

La robotique dédiée aux services professionnels (sécurité, défense, travail sous-marin, construction et exercice médico-chirurgical) représente 90 % d'un marché évalué à 24 milliards de dollars.

C'est aujourd'hui une priorité industrielle pour la France : le ministre du Redressement productif, a annoncé en 2013, un plan de soutien de 100 millions d'euros. À n'en pas douter la robotique de santé y prendra toute sa place.

Trois grands enjeux dominent la robotique de santé :

- la technique de pointe au service du geste. L'industrialisation du geste médical et une performance accrue nécessitent de la part du praticien de maîtriser la technique et de gérer le rythme de son usage dans sa pratique quotidienne ;

- un concentré de technologies oblige à une ouverture des sciences médicales vers d'autres champs : l'électronique, l'informatique, le traitement du signal, l'intelligence artificielle ;

- l'obligation de formation continue pour les chirurgiens.

De plus, cette technologie a un coût spécifique pour le système de santé, à prendre en compte.

Le mot « Robota » fut introduit dans des années 1920 par un auteur tchèque (Karel Capel) pour signifier un travail forcé répétitif, une corvée.

On peut définir un robot comme un assemblage de composants matériels et logiciels (auxquels on a attribué des priorités d'exécution, adapté les réactions du système) qui, une fois interconnectés, aboutit à un comportement global. En particulier une capacité à analyser son environnement, à décider d'une option et à agir sur le monde réel en toute autonomie. C'est cette autonomie qui distingue le robot de la machine.

Selon ce principe, les robots à proprement parler s'adressent d'abord aux disciplines chirurgicales disposant de repères anatomiques fixes, comme la neurochirurgie ou l'orthopédie pour lesquelles le système, après une séquence d'intégration iconographique éventuellement réévaluée en temps réel (sur le modèle de la radiothérapie IMRT navigation embarquée), bénéficie d'une autonomie d'action.

C'est le cas de Robodoc dédié notamment à l'arthroplastie totale de hanche.

En chirurgie viscérale, la mobilité des organes rend la réalisation de telles procédures plus complexe. La plupart des outils chirurgicaux auxquels notre sujet se limite sont en réalité des systèmes de manipulation d'instruments. Les systèmes capables d'effectuer ces tâches à distance portent le nom de télémanipulateurs. Il s'agit de systèmes *master-slave* ou « maître-esclave » qui n'accomplissent pas de tâche automatique mais obéissent aux commandes du chirurgien, vocales ou manuelles.

2. Historique

L'histoire de la robotique chirurgicale est en réalité extrêmement récente (figure 1).

Parallèlement au développement de la laparoscopie, se développent d'autres innovations comme la technologie *Charge-coupled device* (CCD). Ce dispositif à transfert de charge inventé en 1969 permet la conversion d'un signal électromagnétique en signal analogique qui peut être amplifié, traité, aboutissant à une image numérique. Cette innovation marque un changement majeur dans la pratique chirurgicale, l'interaction médecin-patient se trouvant modifiée par l'interposition d'une interface technologique.

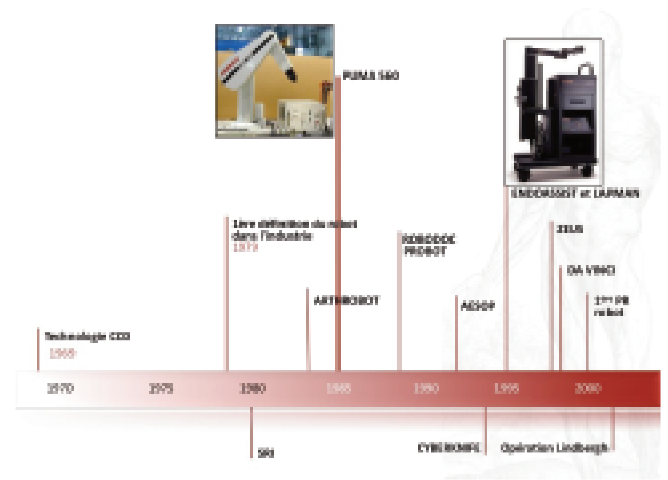


Figure 1.
Principales étapes chronologiques du développement de la robotique chirurgicale.

Alors qu'apparaissent la définition et le cahier des charges d'un robot chirurgical en 1979, Scott Fisher, pionnier de la réalité virtuelle, développe l'année suivante au centre de recherche de la NASA un système de vision binoculaire monté sur un casque qui permet l'immersion dans un environnement virtuel tridimensionnel. L'ingénieur Phil Green développe un système de télémanipulation robotique pour la microchirurgie au *Standford Research Institute* (SRI).

La combinaison de ces deux idées, téléprésence et télémanipulation robotisée marque le début de la téléchirurgie, ou chirurgie à distance, concept qui sera exploité plus tard par le département d'État à la Défense américain. Le développement du *Green Telepresence Surgery System* sera sponsorisé par le *Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)*, et intégré en 1994 à un véhicule de combat.

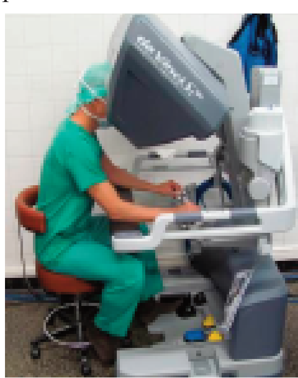
En 1983 sont présentés le premier robot chirurgical *Arthrobot* dédié à l'arthroscopie, puis PUMA, premier outil robotique élaboré visant à guider avec précision des biopsies stéréotaxiques cérébrales. L'évolution est rapide vers des robots « vrais », ROBODOC et PROBOT, effectuant toute une procédure sans intervention du chirurgien. En 1993, *Automated Endoscope Systeme for Optimal Positioning* (AESOP) est le premier manipulateur actif. Un bras porte-endoscope améliore la stabilité de l'image, limite les mouvements inutiles et accidentels. Il est doté d'une interface de commande vocale.

En 1998 ZEUS permet la première laparoscopie entièrement robotisée, indiquée pour l'anastomose des trompes de Fallope à Cleveland (EU).

3. Robot Da Vinci

Cette inexorable marche en avant technologique, se concrétise réellement en 1998 par l'aboutissement du projet d'*Intuitive Surgical Da Vinci*, seul système qui véritablement quitte les laboratoires de recherche pour franchir la porte de nos blocs opératoires.

Il s'agit d'un système maître-esclave se composant de deux modules : un module « patient » comportant une colonne, des bras articulés et un module « opérateur », console dédiée à la vision du champ opératoire et à la manipulation des bras articulés par l'intermédiaire de manettes digitales (figure 2).



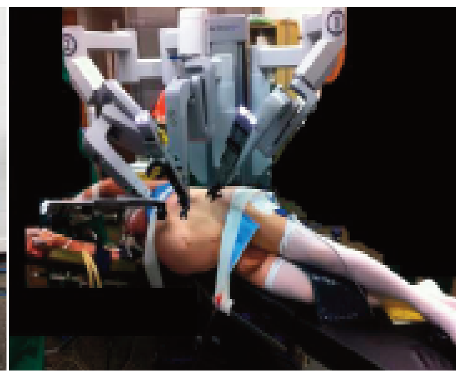


Figure 2. Console chirurgicale et « module patient » du robot Da Vinci Si®

Le système chirurgical robotisé Da Vinci a trois avantages principaux :

- une vision 3D Haute définition avec un grossissement x 10 permettant une vision plus précise que la classique bidimensionnelle, ajoutant la perception de la profondeur de champ ;

- les instruments articulés permettent une grande liberté de mouvement identique à ceux reproduits par la main du chirurgien pour plus de dextérité et plus de précision, comparativement à l'instrumentation rigide des instruments de chirurgie laparoscopique ;

- un meilleur contrôle gestuel. Comparé à la chirurgie laparoscopique traditionnelle, la chirurgie robotisée permet de limiter les tremblements pour plus de précision et plus de contrôle. L'emploi d'un quatrième bras permet de soulager l'aide opératoire au cours des procédures complexes.

Le cahier des charges de ce télémanipulateur est de reproduire au mieux les techniques de chirurgie ouverte tout en bénéficiant des avantages de la chirurgie mini-invasive. Notons toutefois un inconvénient du système: l'absence du retour de force. Une accoutumance visuelle s'y substitue qui transcrit la déformation des tissus manipulés.

L'exploitation de ce type de télémanipulateur, se conçoit dans une perpétuelle logique d'évolution technologique et d'innovation. Le *single port* en est un exemple concret. Il s'agit d'un concept de laparoscopie mini-invasive utilisant un trocart unique. Les instruments incurvés, une optique plus fine permettent de respecter la règle de triangulation et de limiter les collisions des instruments entre eux. Si aujourd'hui le *single port* est en plein essor, demain il sera remplacé par la chirurgie robotisée monobras, qui devrait arriver dans les blocs opératoires en 2015, témoignage de la dynamique d'innovation.

Au chapitre des évolutions techniques, mentionnons la procédure de *Near infared fluorescence* (NIRF). Il s'agit d'une technique d'imagerie métabolique per opératoire basée sur la concentration différentielle du vert d'indocyanine, entre les vaisseaux artériels, le parenchyme sain et le tissu tumoral, traduite par un contraste d'intensité fluorescente en lumière verte. Elle s'applique essentiellement aux domaines de la chirurgie partielle du rein et de la chirurgie cardio-thoracique.

4. Applications cliniques

À partir des éléments sus cités, le Service de santé des armées a nourri une réflexion autour de cet outil chirurgical, aboutie fin 2010 par l'acquisition d'un appareil Da Vinci Si®, à vocation multi disciplinaire, mis en place sur le site de l'HIA du Val-de-Grâce. Début 2014, plus de 300 procédures ont été réalisées depuis l'acquisition.

Les champs d'application clinique de la chirurgie laparoscopique robot assistée sont vastes. L'urologie représente la plus large part des indications, pour des raisons historiques, techniques, anatomiques.

Concernant la prostatectomie totale, l'assistance du robot apporte une dissection fine guidée par la vision en 3D, le grossissement et la stabilité de l'image. La différenciation précise des fibres urétrales et vésicales est envisageable. Ainsi, il est possible de disséquer au plus près des structures à préserver telles le col vésical ou les

bandelettes vasculo-nerveuses. Le curage ganglionnaire iliaque y est aussi facilité. La liberté de mouvement permet de simplifier la réalisation de l'anastomose urétro-vésicale, les points étant placés précisément dans l'axe de l'urètre et serrés sous contrôle visuel. La littérature objective une diminution du saignement et du recours à la transfusion par voie robot assistée mais peine à prouver sa supériorité en terme de résultats fonctionnels et oncologiques [1]. La courbe de progression des opérateurs, les durées opératoires, les taux de complications péri opératoires sont superposables à ceux de la chirurgie conventionnelle. Certaines données récentes semblent mettre en évidence un léger avantage de la prostatectomie robot assistée sur la continence précoce (probablement du fait de l'utilisation d'artifices techniques tels que la suspension antérieure de l'anastomose, ou le soutènement sous anastomotique) mais aussi sur les érections et de la qualité de vie sexuelle [2].

La néphrectomie partielle est une autre indication particulièrement pertinente en urologie [3]. Cette technique était déjà transposée de la voie ouverte à la laparoscopie (figure 3). De la même manière le pédicule vasculaire est abordé en premier, contrôlé puis la tumeur est isolée. Les deux étapes clés de l'intervention sont facilitées. Le geste d'exérèse n'est plus, comparativement au geste laparoscopique, une néphrectomie partielle dans un plan rectiligne mais une réelle tumorectomie dans un plan sphérique. L'hémostase et l'urostase, par rénoraphie sont particulièrement plus aisées grâce à la maniabilité procurée par l'assistance robotique.

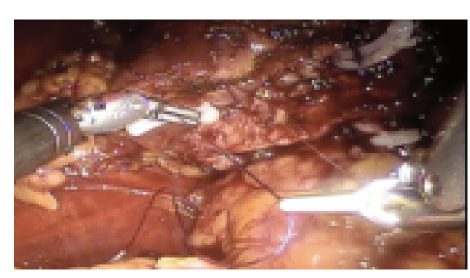


Figure 3.
Tranche de résection rénale suturée au cours d'une néphrectomie partielle robot assistée.

D'autres interventions en urologie sont actuellement en cours d'évaluation telles que la pyéloplastie, la cysto-prostatectomie (figure 4). Leurs faisabilités ont été prouvées. La pertinence clinique ou médico-économique de ces interventions nécessite néanmoins d'être validée.

La chirurgie pelvienne gynécologique se prête particulièrement à une application mini-invasive laparoscopique robot assistée car l'outil est adapté au caractère statique



Figure 4.
Curage iliaque droit robot assistée au décours d'une cysto prostatectomie.

des gestes confinés à l'espace endopelvien. Son indication la plus pertinente est l'hystérectomie élargie en cancérologie, dans laquelle la précision de la dissection prend toute son importance [4]. Elle a prouvé son intérêt en termes de réduction de durée d'hospitalisation et de saignement notamment.

La promontofixation laparoscopique est devenue l'intervention de référence des cures de prolapsus génito-urinaires. Son évolution laparoscopique robot assistée permet une réduction du saignement et de la durée opératoire pour des résultats fonctionnels équivalents à court terme. Elle manque encore de résultats à moyen et long terme mais peine à se démocratiser pour des raisons médico-économiques : le coût du GHS ne couvre pas celui de l'amortissement du robot et du consommable. L'évolution du s*ingle port* devrait permettre dans un avenir proche de pallier ces problématiques de contraintes comptables.

Les applications en chirurgie générale et digestive comprennent la chirurgie du hiatus cardio-tubérositaire avec en particulier, une diminution significative du taux de perforation œsophagienne lors des myotomies de Heller. Mais c'est en chirurgie rectale que la robotique impose ses avantages avec une diminution du taux de conversion pour un temps opératoire similaire, sans péjorer le pronostic carcinologique ni la morbidité post-opératoire [5]. De plus, des études de sous groupes montrent chez l'homme obèse une diminution du taux de fistule.

La chirurgie bariatrique trouve dans le robot un intérêt significatif en termes de diminution du taux de conversion même s'il n'a pas été démontré de différence significative sur le plan de la morbidité post-opératoire [6].

La robotique est une avancée majeure pour la chirurgie cardiaque et thoracique, même si elle reste aujourd'hui entre les mains de quelques équipes très spécialisées.

Les principales interventions en chirurgie cardiaque sont les pontages coronariens, la réparation valvulaire mitrale et tricuspide et la mise en place de sondes de stimulation ventriculaire gauche [7].

En chirurgie thoracique, les chirurgies du médiastin (thymus, adénopathie profonde), la chirurgie pulmonaire diagnostique et thérapeutique (segmentectomie, lobectomie) sont concernées. L'intérêt est évident pour les procédures complexes en thoracoscopie (segmentectomie, *sleeve* bronchique et thymectomie), ce qui permet une diminution importante du risque de conversion.

L'introduction de la robotique dans la pathologie chirurgicale ORL vise à répondre au challenge de la diminution des complications des voies d'abord.

Ainsi la thyroïdectomie totale par voie axillaire ou double voie sus-claviculaire a été développée afin d'éviter la cicatrice médiane cervicale. Elle nécessite une formation et une instrumentation très spécifiques. Les laryngectomie et pharyngectomie transorales permettent d'éviter la réalisation d'une trachéotomie et de diminuer les risques de fistule salivaire. D'autres interventions en urologie sont actuellement en cours d'évaluation telles que la pyéloplastie, la cysto-prostatectomie (figure 4). Leurs faisabilités ont été prouvées. La pertinence clinique ou médico-économique de ces interventions nécessite néanmoins d'être validée [8].

5. Aspects stratégiques de politique hospitalière

Si les aspects cliniques et donc l'amélioration du service rendu au malade sont les moteurs principaux du projet robotique au sein du Service de santé des armées, les enjeux stratégiques de la politique hospitalière sont également sous-tendus par la problématique de la chirurgie robotique.

En témoigne le groupement de coopération sanitaire (GCS) créé sous l'égide de la Direction centrale du SSA et de l'Agence régionale de santé Ile-de-France (ARSIF) en mai 2012 visant à optimiser l'utilisation des moyens médicaux disponibles dans le territoire de santé Paris centre. Ce cadre réglementaire précise et trace les parcours de soins en particulier des patients d'urologie entre les établissements du centre hospitalo-universitaire Cochin et de l'hôpital d'instruction des armées du Val-de-Grâce. Cette coopération revêt un aspect contractuel avec l'hôpital Saint Louis en incluant la formation des assistants.

Outre ses attraits technologiques, la présence d'un robot dans un établissement, par le partage d'un outil commun, renforce le sentiment d'appartenance à une même communauté scientifique, crée une émulation entre les équipes chirurgicales, notion particulièrement prégnante au sein du SSA.

La stimulation des équipes paramédicales, motivées par une spécialisation est aussi une vertu de cette activité.

Enfin le robot est un puissant vecteur de coopération avec nos partenaires européens : par exemple les membres du service d'urologie de l'hôpital de Koblenz en Allemagne venus en visite en 2013 à l'hôpital du Val-de-Grâce (figure 5).





Figure 5.
Robotique chirurgicale vecteur de coopération (Franco Allemande 2013).

Les avantages de la robotique chirurgicale sont multiples mais elle a un coût. Souvent avancées par ses détracteurs, les implications financières doivent être discutées. Il convient de différencier les situations qui sont à cet égard assez diverses. Par exemple, en abaissant la durée opératoire et la durée d'hospitalisation, la néphrectomie partielle robotisée ou laparoscopique a un coût équivalent à celui de la néphrectomie partielle ouverte, bien que le coût matériel de la chirurgie robotisée soit

supérieur à la chirurgie conventionnelle. La pyéloplastie robot assistée a en revanche un coût 2,7 fois supérieur à celui de la laparoscopie, ce qui illustre les limites de la chirurgie robotisée d'un point de vue économique dans certaines indications. En chirurgie digestive, d'un point de vue financier, la robotique a vraisemblablement plus d'intérêt dans la chirurgie du rectum et celle de l'obésité.

6. Aspects pédagogiques

Au delà de la clinique, la robotique chirurgicale a aujourd'hui investi le champ pédagogique de manière enthousiasmante. L'enseignement de la chirurgie robotique en France affecte plusieurs aspects :

- les entraînements sur sujets anatomiques ou réacteurs biologiques au sein d'Ecoles de techniques chirurgicales (exemple : R*esearch Institute against Digestive Cance*r à Strasbourg (IRCAD), École Européenne de Chirurgie à la faculté de Médecine des Saints Pères à Paris) ;
- le diplôme inter universitaire de chirurgie robotique de l'Université de Nancy ;
- les formations proposées par l'industrie: *Master Class*, congrès, présence d'experts lors des premières interventions (*proctoring*).

Des outils pédagogiques ont été également développés par l'industrie comme le simulateur virtuel MIMIC. Il s'agit d'un module installé sur la console du robot permettant une mise en situation virtuelle. Il est ainsi possible de réaliser des exercices de dextérité, de maniement des bras et de la caméra du robot, d'entraînement à la suture, à la dissection. Des simulations d'interventions avec possibilité de choisir des séquences précises sont disponibles. Véritable révolution, le robot Da Vinci « double console » permet l'apprentissage en situation réelle sous le contrôle d'un senior qui peut à tout moment reprendre la main : pour la première un geste initié par le junior peut être interrompu et corrigé par l'enseignant.

Quelques projets de centres dédiés aux techniques d'enseignement par simulation multidisciplinaires se font jour, dans lesquels l'apprentissage de la chirurgie robotique sur simulateur d'intervention 3D aurait toute sa place. C'est un domaine que le SSA connait bien, étant pionnier en matière de simulation dans les centres d'instruction aux techniques de réanimation de l'avant (CITeRA) et le centre de formation opérationnelle santé (CeFOS). La chirurgie robotique pourrait trouver une place à l'avenir si des applications opérationnelles pour le soutien des forces se développent.

7. Robotique chirurgicale et soutien opérationnel santé

L'utilisation du robot, l'acquisition de l'expertise technique dans les hôpitaux d'infrastructure nous conduisent assez naturellement à nourrir une réflexion sur son utilité dans le soutien chirurgical des forces en opérations. Télémédecine et robotique

chirurgicale réunissent les mêmes acteurs dans un triptyque : expert – transmission – patient. Ici le chirurgien n'est plus habillé stérilement. Robotique et télé chirurgie (*remote surgery*) à grande distance se répondent en écho. Les expériences de télémédecine menées par le SSA constituent un véritable laboratoire de la transmission de l'information.

En effet, de nombreux projets sont menés depuis 2001 sur divers théâtres d'opération (Tchad, Kosovo, Côte d'Ivoire) mais aussi en zone isolée (terres australes antarctiques françaises), grâce au développement rapide des moyens de communication notamment d'internet. Cette problématique a été largement explorée par le SSA, pour preuve l'instauration de communications régulières de télé-enseignement avec le service d'urologie de l'hôpital principal de Dakar. Plus récemment la transmission d'images radiologiques par internet dans le cadre de dossiers neurochirurgicaux s'est concrétisée entre l'Afghanistan et les hôpitaux d'infrastructure. Le *telementoring* ajoute une note pédagogique à la télémédecine et est aussi expérimenté par le SSA. Pour preuve les travaux du projet Bertin-Isis conjoint entre le SSA et la Direction générale de l'armement entre 2003 et 2011. Il s'agit de la création d'une plateforme de téléassistance médico-chirurgicale et d'un mentoring de juniors par un expert de la spécialité.

Ce *telementoring* a été décliné dans de nombreuses spécialités chirurgicales : chirurgie thoracique, chirurgie urologique, ophtalmologie, etc. Ces moyens de transmission et de liens vidéo à distance n'incluent pas de gestuelles effectives. Ce concept d'action-concept est apparu avec l'opération Lindbergh en 2001. Il s'agissait de réaliser une cholécystectomie laparoscopique effectuée par le Pr Marescaux depuis New York sur une patiente située à Strasbourg. Cette procédure a nécessité le déploiement d'importants moyens notamment de transmission dédiée par France Telecom avec un délai de transmission inférieur à 200 msec. Un projet similaire est en cours au sein du SSA, né conjointement avec la DGA et *Intuitive Surgical* en 2005. Son ambition est d'effectuer une chirurgie robotisée par voie satellitaire sur un bâtiment de la marine nationale, le Porte avions nucléaire Charles de Gaulle. Toutes les étapes préliminaires ont été effectuées avec succès en vue de réaliser plusieurs interventions allant de la cure de hernie jusqu'à la lobectomie pulmonaire, permettant d'envisager une chirurgie robotisée menée par un praticien spécialiste à terre, aidé par un praticien moins qualifié à la mer. La finalité de ces expériences est d'imaginer comment le robot chirurgical pourrait investir le champ de bataille dans le futur.

L'objectif implicite de cette voie de recherche est de s'affranchir de la problématique des délais d'évacuation et du soutien par un *Role 2* au plus près du combattant. Les challenges sont immenses mais passionnants. Il s'agit de faire sortir le robot du bloc opératoire en se servant des moyens d'évacuation notamment héliportés non plus pour évacuer le blessé au *Role 2* mais pour amener le robot au blessé ; d'adapter le robot aux conditions du terrain qui sont dégradées sur le champ de bataille – d'où la nécessité de le rendre plus petit, plus robuste et moins sophistiqué.

La faible fiabilité des moyens de transmission satellitaires nécessitent l'usage d'interfaces de transmission par des drones, idéalement situés à très hautes altitudes pour éviter d'être une cible pour l'ennemi. Enfin, ce concept souligne la nécessité pour le chirurgien de repenser et d'adapter les techniques de chirurgie de guerre comme celle du *Damage control* à travers l'outil robotique.

Les perspectives futures sont essentiellement le fait de travaux des laboratoires de recherche du département d'État américain à la Défense. Citons le *Trauma Pod Program* développé par la DARPA dont le programme d'action est d'imaginer la robotisation du relevage et de l'extraction, du diagnostic et de la stabilisation du blessé en y intégrant certains gestes chirurgicaux.

Des expériences de terrain préliminaires ont vu le jour ces dernières années pour évaluer la faisabilité de ces projets :

- le projet Doc at a distance en 2006 – initié par l'*US Army Telemedecine and Advanced Technology Research Center* – a testé avec succès la mise en situation sur le terrain d'un module robotique miniaturisé commandé via une interface de transmission aérienne par un chirurgien à distance ayant également déployé une console chirurgicale mobile. Dans cette expérience, les distances étaient modestes, (100 mètres entre les deux modules de terrain), le drone à faible altitude, mais les idées se concrétisent ;

- le robot *Raven* (figure 6) est une évolution du robot *da Vinci* : robot miniaturisé, rendu plus robuste mais également plus simple avec seulement deux bras articulés permettant de manier bistouri, ciseaux, pince, clips…



Figure 6.
Robot RAVEN.

Des expériences plus ambitieuses ont été menées toujours par le département de défense américain : transmission de l'information par l'intermédiaire de drones à très haute altitude, faisabilité en situation d'apesanteur en vue d'applications aérospatiales par exemple.

La télé manipulation chirurgicale n'appartient plus au domaine de la science fiction. Des applications vont se développer à l'avenir pour le soutien santé sur le

champ de bataille. Cette idée a été exprimée par le Professeur Richard Satava, qui fait autorité dans le domaine, ancien chirurgien militaire américain, responsable de 1993 à 2000 du projet de robotique chirurgicale au sein du département de la Défense américain :

« L'avenir de la chirurgie n'est pas que sur le sang et les tripes, l'avenir de la chirurgie est fait de bits et d'octets. »

La robotique chirurgicale est une voie d'innovation technique, scientifique, pédagogique passionnante, mais elle reste une voie d'abord qui ne remet pas en cause les fondements et les indications de la chirurgie conventionnelle.

Son application au sein du système hospitalier militaire est enclenchée de manière irréversible.

Il a permis au SSA de découvrir que le champ d'application de cette technologie est vaste et pourra peut être dans les décennies à venir s'étendre aux opérations extérieures.

Il n'en reste pas moins que deux interrogations devraient rapidement poindre : le Service de santé des armées devra-t-il songer à équiper d'autres HIA et sera-t-il nécessaire de créer un département de robotique au sein du SSA afin de coordonner les efforts de chaque équipe médicale en prenant en compte la teneur des échanges synergiques entre les états-majors, l'industrie de Défense et le SSA ?

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de la leçon de 24 heures (par ordre alphabétique) : Nicolas Benoist, Pierre Olivier Bosset, François Régis Desfemmes, Marie Dusaud, Delphine Rouquie, Atmane Safsaf, Ambroise Salin.

Références bibliographiques

[1] Systematic review and meta-analysis of studies repo... [Eur Urol. 2012] – PubMed – NCBI. Available at: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22749851. Accessed April 3, 2014.

[2] Ficarra V, Novara G, Rosen RC, et al. Systematic review and meta-analysis of studies reporting urinary continence recovery after robot-assisted radical prostatectomy. Eur Urol. 2012;62(3):405-17. doi:10.1016/j.eururo.2012.05.045.

[3] Khalifeh A, Autorino R, Eyraud R, et al. Three-year Oncologic and Renal Functional Outcomes After Robot-assisted Partial Nephrectomy. Eur Urol. 2013. doi:10.1016/j.eururo.2013.03.052.

[4] The increasing use of robot-assisted app... [Arch Gynecol Obstet. 2014] – PubMed – NCBI. Available at: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23839534. Accessed April 3, 2014.

[5] Kim CW, Kim CH, Baik SH. Outcomes of robotic-assisted colorectal surgery compared with laparoscopic and open surgery: a systematic review. J Gastrointest Surg. 2014;18(4):816–30. doi:10.1007/s11605-014-2469-5.

[6] Cirocchi R, Boselli C, Santoro A, et al. Current status of robotic bariatric surgery: a systematic review. BMC Surg. 2013;13:53. doi:10.1186/1471-2482-13-53.

[7] Early clinical outcomes of robot-ass... [Eur J Cardiothorac Surg. 2014] – PubMed – NCBI. Available at: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24321994. Accessed April 3, 2014.

[8] Tsang RK, To VS, Ho AC, Ho W-K, Chan JY, Wei WI. Early results of robotic assisted nasopharyngectomy for recurrent nasopharyngeal carcinoma. Head Neck. 2014. doi:10.1002/hed.23672.

Chaire de chirurgie appliquée aux armées

Chirurgie plastique reconstructrice

Voies de recherche et perspectives dans la prise en charge des brûlés

Patrick Duhamel

1. Introduction

Les techniques de réanimation et de chirurgie les plus modernes, mises en œuvre dans les centres de traitement de brûlés, permettent de sauvegarder le pronostic vital d'un nombre important de très grands brûlés.

En dépit des progrès réalisés dans la prise en charge de ces patients au cours des trente dernières années, vous devez impérativement prendre toute la mesure du niveau des séquelles présentées et imaginer leur impact sur la qualité de la vie. Voilà une bonne occasion de réfléchir sur les voies de recherche et perspectives dans la prise en charge des brûlés ; ce sera le titre de notre leçon.

La prise en charge des brûlés étant pluridisciplinaire, l'exposé sera volontairement limité aux voies de recherche et perspectives dans le domaine qui nous intéresse, à savoir le domaine chirurgical.

L'intérêt de cette question est lié à la fréquence et à la gravité des brûlures, en particulier en milieu militaire. Nous aborderons donc cette leçon en trois parties. L'état actuel de la prise en charge des brûlés nous permettra de dégager les problématiques auxquelles vous serez confrontés. Nous verrons ensuite les voies de recherche fondamentales et cliniques appliquées pour faire face à ces problématiques avant d'envisager les perspectives au sens littéral du terme, c'est à dire les innovations et projets pour le futur.

2. État actuel de la prise en charge des brûlés

2.1.Définition

La brûlure se définit par une destruction tissulaire secondaire à l'agression du revêtement cutané, voire des structures sous jacentes, consécutive à l'action d'agents thermiques, électriques, chimiques voire radiologiques.

2.2. Épidémiologie

En milieu civil : les régions les plus touchées sont les mains et l'extrémité céphalique, zones les plus exposées. Les causes les plus fréquentes sont représentées par les brûlures par flammes (60 %) et par liquides chauds (20 %). Les accidents domestiques sont les plus fréquents (7/10) devant les accidents du travail (17 %) avec une nette prédominance masculine (64 %). Les lésions associées doivent être

recherchées de principe car elles conditionnent le pronostic. Tout patient brûlé doit ainsi être considéré comme un polytraumatisé jusqu'à preuve du contraire. L'incidence des brûlures, toute gravité confondue, est estimée à 500 000 cas par an en France, dont 10 000 sont hospitalisés et 1 000 conduisent à un décès.

En milieu militaire : les brûlures sont devenues des lésions prédominantes au cours des conflits du XXe siècle du fait de l'utilisation croissante des engins explosifs, avec un taux d'incidence global d'environ 8 à 10 % depuis la Seconde Guerre mondiale. Les brûlures les plus graves surviennent lors d'incendies en ambiance confinée, qu'il s'agisse d'aéronefs, de navires (Malouines – 1982) ou d'engins blindés (Kippour – 1973).

De nos jours, le taux de brûlure est d'environ 5 % dans le cadre de la lutte contre le terrorisme en Irak et Afghanistan. Les agents vulnérants sont essentiellement des engins explosifs improvisés (IED – *Improvised Explosive Device*) dirigés contre les véhicules de la coalition. Il s'agit le plus souvent de lésions peu étendues, touchant principalement la face et les mains, mais avec des lésions associées fréquentes, en particulier blast et poly criblage [1].

Les conflits asymétriques et les actes de terrorisme nous confrontent chaque jour davantage à l'actualité de ce sujet.

2.3. Les facteurs de gravité des brûlures doivent être connus

- La surface est exprimée en pourcentage de la surface corporelle totale, en sachant qu'une paume de main du patient brûlé correspond à 1 % de sa surface corporelle totale. La règle dite des neuf de Wallace est la plus communément utilisée, adaptée en fonction de l'âge (table de Lund et Browder) (figure 1) ;

Gravité d'une brûlure

- **Surface** **(en % de surface corporelle totale)**

- 1 paume de main du brûlé = 1% de surface corporelle

- Règle des 9 de Wallace

tête 9%
tronc 4 x 9%
chaque membre supérieur 9%
chaque membre inférieur 2 x 9%
périnée (qq soit le sexe) 1%

à adapter en fonction de l'âge : Table de Lund et Browder

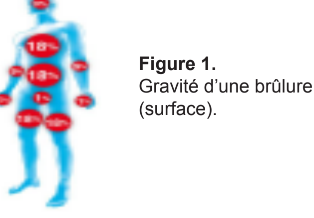


Figure 1. Gravité d'une brûlure (surface).

- la profondeur permet de distinguer des brûlures du 1er degré qui vont cicatriser spontanément (équivalent d'un simple coup de soleil), jusqu'aux brûlures profondes

de 3e degré caractéristiques par leur caractère indolore et la texture de cuir cartonné prise par le revêtement cutané, qui imposeront la réalisation de greffes. Au maximum, les brûlures peuvent aller jusqu'à une véritable carbonisation réalisant une quasi amputation de facto (figure 2) ;

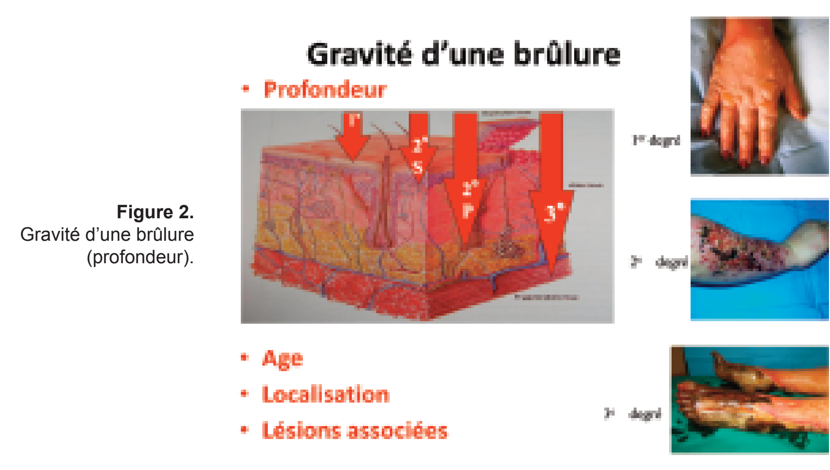


Figure 2.
Gravité d'une brûlure (profondeur).

- l'âge, notamment les deux extrêmes de la vie ;

- la localisation des brûlures qui conditionne le risque vital, fonctionnel, voire esthétique (face, mains, périnée) ;

- enfin les lésions associées (blast, polycriblage, inhalation, polytraumatisme, terrain…) qui doivent être recherchées de principe par un examen systématique et minutieux, car elles conditionnent le pronostic.

Différents scores de gravité peuvent être utilisés, en particulier le score de Baux, très simple d'utilisation, qui additionne l'âge à la surface corporelle brulée ; ainsi que le score UBS (*Unit Burn Standard*) qui additionne la surface cutanée brûlée totale et la surface brûlée au 3e degré à laquelle est appliquée un facteur multiplicatif de trois (figure 3).

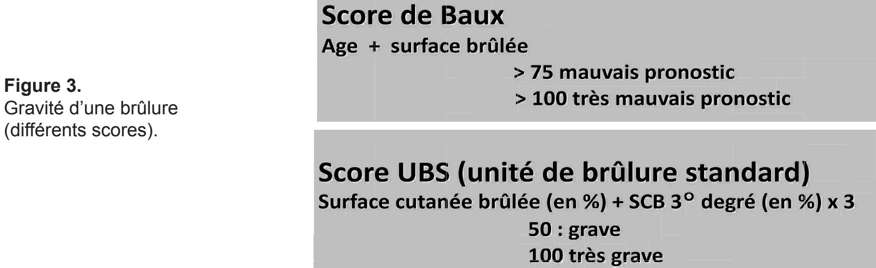


Figure 3.
Gravité d'une brûlure (différents scores).

Au terme de ce bilan, le diagnostic de gravité est posé, permettant de définir la stratégie thérapeutique, à savoir par ordre de priorité : sauver la vie, la fonction et l'esthétique (figure 4).

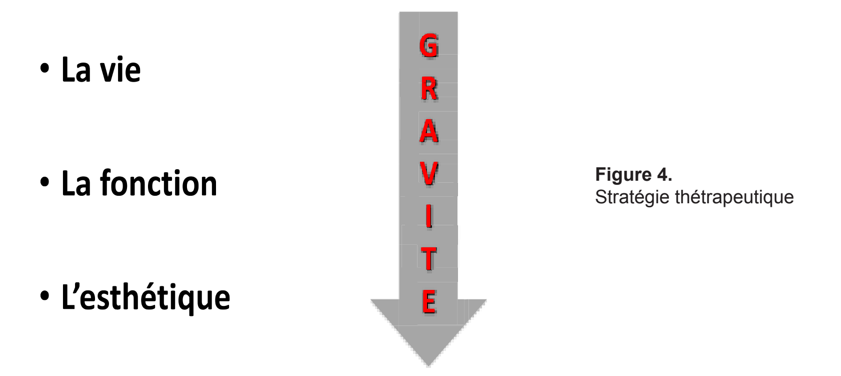


Figure 4.
Stratégie thétrapeutique

2.4. La prise en charge des patients brûlés

La prise en charge des patients brûlés s'est considérablement améliorée au cours des 30 dernières années. D'une survie exceptionnelle, il y a 30 ans, pour des surfaces supérieures à 50 %; la survie est actuellement supérieure à 50 % pour les patients brûlés à 80 %. Ceci a été rendu possible par une organisation spécifique de la chaîne de soins avec :

- la création des premiers centres de traitement des brûlés, au décours de l'accident de la raffinerie de Feyzin près de Lyon, dans les années soixante ;

- une prise en charge spécialisée et pluridisciplinaire, avec notamment la création de la Société française d'étude et traitement des brûlures (en 1979), qui regroupe dans une même société savante l'ensemble des intervenants de la chaîne de soins.

Cette prise en charge relève d'une organisation à échelons successifs qui vise de façon chronologique à **R**éanimer puis **R**ecouvrir le patient brûlé, avant de finalement pouvoir permettre sa **R**éhabilitation sur le plan fonctionnel ; ce que l'on peut résumer par « la règle des 3 R » (figure 5).

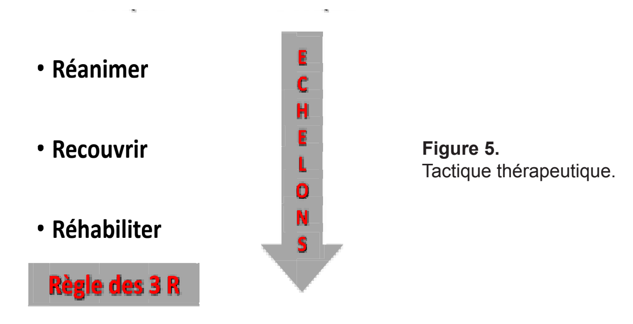


Figure 5.
Tactique thérapeutique.

La priorité dans la prise en charge initiale va à la stabilisation des fonctions vitales et à la réanimation afin de permettre une chirurgie de couverture dans de bonnes conditions. La lourdeur logistique et technique de prise en charge des grands brûlés associée aux contraintes logistiques opérationnelles en milieu militaire imposent un rapatriement sanitaire vers les hôpitaux d'infrastructure où le traitement pourra être assuré dans de meilleures conditions. La chaîne de soutien santé des forces en opérations réserve aux structures de *Role 2* (antennes chirurgicales) et *3* (HMC), placées au plus près du théâtre d'opérations, les gestes chirurgicaux d'urgence indispensables à la survie et au transfert, voire au triage en cas d'afflux massif de blessés.

2.5. La prise en charge initiale en Centre de Traitement de Brûlés

La prise en charge initiale en Centre de traitement de brûlés est centrée sur les gestes d'urgence et le recouvrement cutané.

2.5.1. Les gestes d'urgence

Ils sont avant tout des gestes de **R**éanimation visant à assurer le contrôle des fonctions vitales (ventilation par intubation oro ou naso-trachéale suivie si besoin d'une trachéotomie) et un remplissage vasculaire adapté afin de compenser les pertes hydro électrolytiques, sous couvert de voies d'abord vasculaires de bon calibre et d'une surveillance continue de la diurèse (sondage urinaire impératif).

Sur le plan chirurgical, deux gestes fondamentaux sont à connaître et à savoir réaliser en urgence : les incisions de décharge et les fasciotomies (communément appelées aponévrotomies).

2.5.1.1. Les incisions de décharge ou escarrotomies

Elles ne concernent que la peau brûlée jusqu'au fascia recouvrant le plan musculaire. Elles sont pratiquées en cas de brûlures profondes circonférentielles (2e et 3e degré), que ce soit au niveau du cou, du thorax ou des membres:

- au niveau des membres pour éviter un effet « garrot » source d'ischémie aiguë ;
- au niveau du cou pour éviter l'obstruction des voies aériennes supérieures ;
- et au niveau du thorax pour éviter un effet carcan, gênant l'ampliation thoracique.

À la main : trois incisions parallèles sont réalisées dans les vallées inter métacarpiennes du dorsum et deux incisions au bord ulnaire et radial de chaque doigt, en prenant soin de bien préserver les commissures inter digitales, de reconstruction toujours difficile [2].

2.5.1.2. Les fasciotomies ou aponévrotomies

Les fasciotomies ou aponévrotomies sont pratiquées aussi bien aux membres

supérieurs qu'inférieurs. Elles doivent concerner toutes les loges, en particulier dans le cadre des brûlures électriques et/ou avec fracture associée pour éviter les conséquences délétères des syndromes des loges des membres.

2.5.2. Le principe de l'excision-greffe précoce des brûlures profondes

Pour ce qui concerne le recouvrement cutané, sauf exception liée au contexte, c'est le principe de l'excision-greffe précoce des brûlures profondes qui prévaut, conditionné par la surface corporelle brûlée et par la disponibilité en sites donneurs de peau saine.

2.6. Le parage des zones brûlées est effectué selon deux méthodes

L'excision tangentielle, préservant tout ou une partie du derme, est réalisée à l'aide d'un dermatome à main dit « de Lagrot » (Watson pour les anglo saxons). L'avulsion cutanéo-graisseuse allant jusqu'à l'aponévrose dans les brûlures plus profondes (3e degré ou carbonisation), est habituellement réalisée au bistouri électrique afin de limiter les pertes sanguines.

La couverture cutanée (**R**ecouvrir) est assurée de principe à partir des sites donneurs de peau saine restants du sujet brûlé. Il s'agit d'autogreffes utilisées en peau mince (2 à 3/10e de mm), pleine ou expansée en filet au stade aigu; et préférentiellement en peau totale au stade des séquelles car moins sujettes à rétraction secondaire, sous réserve de disponibilité (plis inguinaux, région sus claviculaire, face interne des bras...). L'excision et la greffe sont idéalement menées dans le même temps opératoire, dans les dix jours qui suivent l'accident. Ceci est relativement simple pour des surfaces excisées limitées entre 10 et 30 % avec des zones saines cutanées importantes offrant une bonne réserve de sites donneurs de greffons cutanés. Chez les brûlés les plus graves, le capital cutané sain restant n'est malheureusement pas suffisant pour permettre ces excisions greffes immédiates. Il faut alors faire appel à des techniques particulières d'amplification des greffes de peau mince, en filet ou sous forme de micro greffes en pastilles (Meek technique®), également appelée technique Huméca®, afin d'augmenter la surface couverte au prix d'une rançon cicatricielle indiscutable qui représente la principale problématique de ces techniques de couverture des grands brûlés.

Dans les cas les plus graves, il est fait appel aux substituts cutanés temporaires type allogreffes, cryopréservées ou glycérolées, prélevées dans le cadre de dons d'organes et de tissus (prélèvements multi organes) ou sur donneur décédé. Elles permettent une couverture transitoire dans l'attente de la stabilisation des fonctions vitales, de la disponibilité de sites donneurs d'autogreffes de peau mince mais servent également de pansement biologique en protection mécanique de greffes de peau mince expansées à mailles larges. La principale problématique de ces substituts est

représentée outre leur coût, par un risque immunologique, à savoir une immunisation anti HLA avec toutes ses implications potentielles en termes d'accès futur à une greffe d'organes mais également de tissus composites sur lesquels nous reviendrons. Ces substituts cutanés sont également représentés par les xénogreffes, notamment derme porcin – EZ derm®.

Les épidermes de culture autologues sont des indications d'exception au-delà de 60 % de surface corporelle brûlée au 3e degré avec, pour principale problématique, leur fragilité liée à l'immaturité de la jonction dermo-épidermique, source d'ulcérations itératives au moindre frottement pendant plusieurs mois voire années, sans oublier encore une fois le coût au premier plan.

« L'épiderme, c'est la vie ; le derme, c'est la qualité de la vie (souplesse de la peau) ». Dans les brûlures profondes avec destruction complète du derme, l'utilisation de substituts cutanés définitifs (les dermes artificiels) vise à reconstruire un néo derme, en particulier au niveau des zones fonctionnelles, à savoir la face, les mains mais également lors d'expositions tendineuses ou ostéo-articulaires limitées, sous réserve d'un sous-sol bien vascularisé. Il s'agit ici de matrices tridimensionnelles riches en collagène d'origine animale (bovine ou porcine). Les dermes artificiels sont revascularisés par le sous-sol, progressivement dégradés et colonisés par des fibroblastes et des cellules de l'inflammation, conduisant à la formation d'un néo derme proche du derme d'origine. En fonction de l'épaisseur du derme artificiel utilisé (1 à 2 mm), une greffe de peau mince complémentaire (2 à 3/10e de mm) est respectivement mise en place dans le même temps opératoire, ou après une phase initiale de quinze jours – trois semaines nécessaire à la revascularisation de la trame collagénique. La problématique est là encore représentée par le coût mais également par un risque infectieux au premier plan [3], d'où la recommandation habituelle d'éviter leur utilisation lorsque des germes multi résistants ont été isolés au niveau du site receveur.

Lorsque le sous-sol n'est pas greffable et/ou avec exposition ostéo-articulaire ou tendineuse plus étendue, des lambeaux doivent être utilisés. Les lambeaux se définissent par une structure uni- ou pluri tissulaire à vascularisation propre : locaux, régionaux ou prélevés à distance du site receveur. Ils peuvent ainsi être utilisés pédiculés ou au contraire libres, c'est à dire avec anastomoses microchirurgicales. Au delà des risques d'échec liés à la technique, la problématique est représentée par une rançon cicatricielle supplémentaire. Reconstruire sans détruire constitue toute la difficulté.

Néanmoins, il n'y a parfois aucune solution et l'on doit alors se résoudre à une amputation de raison ou de nécessité ; en particulier dans le cadre d'électrisations avec quasi momification d'un membre, de dégâts pluri-tissulaires au delà de toute ressource thérapeutique, enfin pour raison métabolique et/ou septique. La principale problématique est alors représentée par l'appareillage et la rééducation dans le cadre d'une concertation pluridisciplinaire centrée sur la prise en charge de la douleur, qui doit être au premier plan, pour éviter la constitution d'un véritable cercle vicieux

(douleur – inflammation – rétractions et limitations de mobilité …).

La **R**éhabilitation fonctionnelle, psychologique et socio professionnelle des patients brûlés, source de contraintes majeures, s'étend ainsi sur plusieurs mois voire années. L'évolution cicatricielle des brûlures est en effet dominée par l'hypertrophie et la rétraction, d'où la nécessité d'immobilisations complémentaires, d'attelles de posture, de masso kinésithérapie et surtout de port de vêtements compressifs de façon prolongée jusqu'à la fin de la période de maturation cicatricielle (qui s'étend sur 12 à 18 mois).

La rééducation effectuée en centre spécialisé joue ici un rôle fondamental, associée aux cures thermales (crénothérapie), à raison de deux cures par an pendant deux à trois ans suivies d'une cure par an pendant trois à quatre ans, pour les très grands brûlés.

L'évolution cicatricielle conditionne la chirurgie des séquelles et le choix du timing et des méthodes de réparation.

3. Voies de recherche

Au terme de cette prise en charge, la problématique des grands brûlés est donc essentiellement de quatre ordres ouvrant la voie à autant d'axes de recherche, en relation avec des problèmes immunologiques, des problèmes infectieux, en termes de régénération cellulaire ou tissulaire ; enfin en termes de remplacement tissulaire (allo transplantation de tissus vascularisés) voire prothétique.

3.1. Les problèmes immunologiques

Transfusions multiples incontournables, voire utilisation d'allogreffes de peau, sont susceptibles d'induire une allo immunisation anti HLA au même titre que les antécédents de grossesse [4, 5]. Cette immunisation anti HLA peut constituer une contre-indication absolue ou relative à une mise en liste d'attente, ou pour le moins compliquer le choix d'un éventuel donneur pour les candidats potentiels à une future transplantation d'organe et/ou de tissus composites (face, mains…). Ceci a été clairement mis en évidence dans le cadre d'un Protocole Hospitalier de Recherche Clinique conduit par le Pr Lantiéri, puis démontré dans le cadre d'un protocole de recherche que j'ai conduit à l'HIA Percy à Clamart, sur une cohorte de patients pris en charge au centre de traitement des brûlés entre 2007 et 2010, pour des brûlures profondes (2e et 3e degré sur plus de 40 % de la surface corporelle) [6]. L'accès des patients brûlés à une greffe d'organe ou de tissus composites est ainsi rendu plus difficile, en comparaison à une population de patients en attente de transplantation rénale (risque relatif de 3,3477). La recommandation d'éviter l'utilisation d'allogreffes de peau cryopréservées au stade initial de la prise en charge des brûlés, pour les candidats potentiels à une future allo-transplantation de tissus composites (face et/ou mains), semble ainsi raisonnable afin de limiter le risque d'immunisation anti-HLA.

3.2. Les problèmes infectieux

Parallèlement, un état d'immunosuppression induite transitoire est souvent observé chez les très grands brûlés [7], associé à un risque infectieux majeur, sources possibles

de réactivations infectieuses ultérieures, véritable épée de Damoclès susceptible de compromettre à terme une future allo-transplantation ; comme cela a été le cas pour la première greffe combinée face-mains réalisée à Créteil en 2009.

Les infections de site opératoire observées chez les patients brûlés sont indéniablement à très haut risque en terme de morbidité et mortalité, à la fois au stade initial de la prise en charge, comme au stade de l'allo transplantation, lorsque celle-ci doit être envisagée en dernier recours. Ce risque avait déjà été clairement mis en évidence pour les greffes d'organes [8].

Le risque infectieux est toujours étroitement corrélé avec la surface corporelle brûlée, la durée de séjour hospitalier et les procédures invasives de type pose de cathéter central [9].

La stratégie d'excision greffe précoce des brûlures a démontré son efficacité en termes de survie, de limitation du risque infectieux au prix de transfusions multiples incontournables. Il faut probablement adapter cette stratégie d'excision-greffe pour les candidats potentiels à une ATC ultérieure, pour les amener si possible à un statut pré greffable, en limitant à la fois les risques infectieux et d'allo immunisation.

De nombreux problèmes de résistance aux antibiotiques sont actuellement rencontrés, en particulier dans les centres de traitement des brûlés. Ces problèmes imposent un strict respect des règles de bon usage des antibiotiques, une surveillance attentive de l'écologie bactérienne, une recherche active de nouvelles molécules anti infectieuses (antibiotiques innovants, peptides antimicrobiens, bactério-modulateurs...) ; mais également le développement de nouvelles stratégies anti infectieuses telles que les bactériophages qui semblent les plus prometteurs. Un protocole de recherche national est d'ailleurs actuellement mis en place, afin d'évaluer cette nouvelle voie de recherche. Il s'agit en pratique de bactéries ou virus dénués de pouvoir pathogène sur l'organisme humain et disposant d'un tropisme électif sur une bactérie donnée, impliquée dans un processus pathologique de nature infectieuse. Ces bactériophages agissent par cycle lytique ou au contraire lysogénique.

3.3. La régénération : bio ingénierie tissulaire et thérapie cellulaire

3.3.1. Les épidermes de culture autologues (ECA)

La technique est celle décrite par Rheinwald et Green en 1975 [10]. Industrialisée et commercialisée aux États-Unis en 1986, elle a été utilisée pour 63 patients à l'HIA Percy, entre 1991 et 2010 [11].

Elle consiste à produire de l'épiderme à partir de kératinocytes souches cultivés sur fibroblastes 3T3. Ces kératinocytes souches sont obtenus par un prélèvement de peau totale de quelques cm^2, effectué en zone pileuse non brûlée (creux axillaires ou plis inguinaux). Dès que l'indication thérapeutique est posée, deux biopsies de peau totale (soit 5 à 10 cm^2) sont envoyées au laboratoire Genzyme Tissue Repair®

(Cambridge, Massachussets, United States of America), avec lequel nous travaillons depuis plus de 20 ans.

À partir des biopsies, les kératinocytes souches sont isolés, cultivés, permettant d'obtenir des feuillets sous forme de quatre à cinq assises de cellules, fixés à l'aide de micro agrafes sur des supports textiles avant conditionnement et transport afin d'être mis en place sur le patient.

Pendant les deux à trois semaines nécessaires à la culture des kératinocytes, les futurs sites receveurs sont rapidement excisés au fascia et recouverts d'allogreffes cryopréservées.

La veille de la pose des cultures, le patient retourne de nouveau au bloc opératoire pour une préparation des sites receveurs. Celle-ci consiste à éliminer l'épiderme des allogreffes par ponçage mécanique au disque abrasif, ou par excision tangentielle minutieuse pour ne laisser en place que le derme étranger faiblement antigénique, bien adhérent au sous-sol. Des prélèvements à visée bactériologique sont régulièrement effectués pour s'assurer de l'absence de colonisation bactérienne.

Le jour de la réception des cultures, le sous-sol des sites receveurs est vérifié pour s'assurer de l'absence d'infection et éliminer d'éventuels débris tissulaires résiduels.

Les greffons sont soigneusement positionnés et agrafés au niveau des sites receveurs, en évitant toute manipulation intempestive. Les pansements sont alors refaits quotidiennement jusqu'à l'ablation des supports textiles vers le septième-huitième jour.

Sur le plan pratique, les ECA sont une technique d'exception réservée aux très grands brûlés (plus des deux tiers de la surface corporelle brûlée au 3e degré). Elles ne peuvent être mises en œuvre que dans des centres très spécialisés ; compte tenu du coût et de la lourdeur logistique de cette technique qui demande une équipe entraînée. De surcroît, l'épidermisation obtenue reste longtemps fragile, pendant plusieurs mois voire années, source d'ulcérations itératives, de phlyctènes par immaturité de la jonction dermo-épidermique ; imposant une vigilance extrême du patient et de son entourage avec à long terme, un risque de dégénérescence néoplasique (ulcère dit de Marjollin).

D'autres voies de recherche sont actuellement en cours de développement, non seulement pour la production d'épidermes de culture autologues et de nouveaux dermes artificiels ; mais également pour la mise au point de véritables cultures de peau totale associant derme et épiderme.

3.3.2. Les cellules souches mésenchymateuses

La thérapie cellulaire ouvre de nouvelles perspectives thérapeutiques dans le domaine des brûlures, en particulier l'intérêt des cellules souches mésenchymateuses (CSM) d'origine hématopoïétique pour la prise en charge des brûlures par irradiation, accidents d'exposition aux rayonnements ionisants, en milieu industriel voire dans le cadre de la iatrogénie médicale (radiologie interventionnelle). Les lésions cutanées

sont fonction de la dose reçue, évoluant de l'épidermite sèche vers l'épidermite exsudative, jusqu'à la nécrose tissulaire inéluctable au-delà de 25 Gray. On parle alors d'effets déterministes directement liés à la dose par opposition aux effets aléatoires des rayonnements ionisants, indépendants de la dose, en particulier risque génétique et cancer. C'est là le point fondamental : il s'agit de tissus sains condamnés. Cette nécrose peut être très extensive, évoluant par poussées successives radio fibrosantes susceptibles de mettre en jeu le pronostic fonctionnel d'une part, mais aussi le pronostic vital. Les principes chirurgicaux sont bien connus et classiques avec des parages itératifs compte tenu de l'extension des nécroses avec des douleurs résistantes aux opiacés (morphiniques). L'évolution radio fibrosante par poussées est parfois dramatique pouvant conduire à la désarticulation et finalement au décès.

Les nouvelles perspectives thérapeutiques dans la prise en charge des accidents d'irradiation aiguë localisée sont représentées par la combinaison de la chirurgie et de la thérapie cellulaire. Les cellules souches mésenchymateuses d'origine hématopoïétique, obtenues par cytoaspiration médullaire et mise en culture au laboratoire de thérapie cellulaire du Centre de transfusion sanguine des armées, ne se substituent pas à la chirurgie ; elles doivent être considérées comme un adjuvant en favorisant l'homéostasie du milieu, la trophicité et la réparation tissulaire, par leur rôle immuno-modulateur, anti inflammatoire et pro angiogénique. L'association chirurgie – thérapie cellulaire stoppe l'évolution radio fibrosante avec disparition des douleurs dès les premières injections de CSM. « En quelque sorte, la chirurgie amène la pierre à la reconstruction et les CSM en sont le ciment » [12]. Ces résultats prometteurs sont le fruit d'une collaboration multidisciplinaire, en relation étroite avec l'AIEA (Agence Internationale pour l'Énergie Atomique, Vienne – Autriche), l'IRSN (Institut de Radioprotection et Sureté Nucléaire, Fontenay-aux-Roses – France) et le SPRA (Service de Protection Radiologique des Armées, Ilot Percy – Clamart).

3.4. Le remplacement tissulaire composite ou prothétique.

3.4.1. Les allo transplantations de tissus composites en chirurgie reconstructrice

Malgré tous les progrès des techniques de reconstruction, certaines situations restent sans solution réellement satisfaisante telles que les carbonisations et mutilations faciales majeures avec destruction des muscles faciaux péri orificiels (orbiculaires des lèvres et/ou des paupières) entraînant une gêne fonctionnelle et/ou les amputations bilatérales de mains.

L'allo transplantation de tissus composites (ATC) se définit par le transfert de greffons pluritissulaires prélevés chez un sujet donneur en état de mort encéphalique et revascularisés par technique microchirurgicale, chez un sujet receveur sans lien de parenté.

L'ATC est donc une chirurgie de remplacement tissulaire alliant reconstruction microchirurgicale et transplantation interhumaine, mais à la différence des greffes d'organes (cœur, foie, rein, poumon), elle ne vise pas à sauver la vie mais à améliorer la qualité de la vie au prix d'une contrainte majeure : la nécessité d'un traitement immunosuppresseur à vie.

Les premières applications cliniques chez l'homme ont démontré la faisabilité technique de la procédure qui ouvre la voie à de nouvelles perspectives chirurgicales, formidable espoir pour les grands mutilés et handicapés lourds au-delà de toute ressource chirurgicale classique.

L'émergence des ATC découle des progrès effectués ces 50 dernières années, notamment :

- la maîtrise des techniques microchirurgicales ;
- l'expérience des replantations de membres et scalp ;
- l'essor des allo transplantations d'organes ;
- le développement des traitements immunosuppresseurs [13].

À partir de 1998, les protocoles d'immunosuppression associent pour la plupart : tacrolimus, mycophénolate mofétil et méthyl prednisolone.

Du rêve à la réalité, 1998 ouvre la voie aux premières applications médiatiques d'ATC avec la première allogreffe de mains réalisée à Lyon par le Professeur Dubernard, suivie de deux cas aux États-Unis et en Chine. La première allogreffe bilatérale est réalisée en 2000, encore une fois à Lyon.

Depuis 1998, la transplantation de mains et de membres supérieurs est rentrée dans le domaine clinique avec plus de 60 allo-transplantations réalisées à travers le monde, dans plus de quatorze centres. L'expérience clinique s'avère plus qu'encourageante avec seulement trois échecs rapportés : un par non observance du traitement immunosuppresseur, un de cause non précisée et le cas récent d'allogreffe combinée de la face et des deux mains réalisée à Créteil, par les Pr Lantiéri, Méningaud et Dumontier, chez un patient gravement mutilé par des séquelles de brûlures. Une réactivation infectieuse conduira au décès du patient, deux mois après l'intervention.

La qualité des résultats fonctionnels des transplantations de mains et membres supérieurs est globalement comparable voire supérieure à celle des replantations de membres, avec un rapport bénéfice-risque dominé par les contraintes du traitement immunosuppresseur et un risque infectieux au premier plan, notamment chez les brûlés. Les amputations bilatérales de mains chez des patients jeunes sont probablement la meilleure indication.

La maîtrise « toute relative » des phénomènes de rejet par les traitements immunosuppresseurs ouvre la voie aux allo transplantations de face. Parallèlement, des travaux expérimentaux menés sur le chien et le rat ainsi que des dissections et études cadavériques confirment la faisabilité technique de l'allo-transplantation de face chez l'homme. Depuis 2005, 23 greffes partielles ou totales de face ont été réalisées à travers le monde, dont la moitié en France (sept à Créteil par l'équipe du Pr Lantiéri,

deux à Amiens par l'équipe du Pr Devauchelle en collaboration avec le Pr Dubernard) et neuf sur 23 pour séquelles de brûlures (40 %).

En juin 2010, une nouvelle étape a été franchie : la première allogreffe totale de face incluant paupières et appareil lacrymal, réalisée à Créteil par l'équipe des Pr Lantiéri et Méningaud, ouvrant ainsi la voie à de nouvelles perspectives chirurgicales, à savoir la transplantation d'unités fonctionnelles/esthétiques isolées (paupières et appareil lacrymal…). Les résultats fonctionnels sont plus qu'encourageants, démontrant la faisabilité technique de la procédure. Le rapport bénéfice-risque est également dominé par les contraintes du traitement immunosuppresseur avec un risque infectieux au 1er plan, notamment chez les brûlés qui posent des problèmes spécifiques, à la fois immunologiques et infectieux. Les patients brûlés restent donc encore un véritable challenge, relevant toujours de la recherche.

3.4.2. Les prothèses

Lorsque l'amputation est inévitable et en dehors des rares cas susceptibles de relever d'une ATC, la seule solution offerte au patient est celle du remplacement prothétique. Depuis Larrey et Percy, l'appareillage prothétique a connu d'importantes évolutions et fait encore aujourd'hui l'objet de recherches actives. Les dernières avancées sont représentées par les prothèses bioniques, les techniques d'ostéointégration ainsi que la réinnervation musculaire ciblée (*Targeted Muscle Reinnervation*) et les électrodes implantées.

Les techniques d'ostéointégration ont pour avantage l'absence d'emboîture de réalisation difficile et de tolérance médiocre sur les moignons très courts ; et pour principales limites leur coût (autour de 40 000 euros), une procédure longue en termes de chirurgie et de rééducation qui impose une parfaite compliance de la part du patient (figure 6).

Ostéo intégration

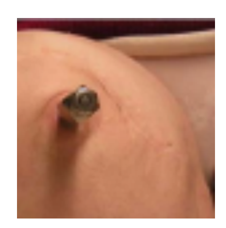




Figure 6.
Ostéo-intégration.

Les prothèses avec réinnervation musculaire ciblée représentent une technique innovante, particulièrement intéressante pour les amputations d'épaule et au 1/3 proximal du membre supérieur. Mise au point par une équipe américaine, la technique consiste à réinnerver des faisceaux musculaires de la région scapulaire par transposition de faisceaux nerveux du plexus brachial. Après une phase initiale de repousse nerveuse avec réinnervation, l'appareillage prothétique est relié à des électrodes et un système de microprocesseurs. La réinnervation musculaire ciblée permet ainsi des mouvements simultanés de l'épaule, du coude, du poignet et des doigts avec pour principales limites : l'importance de l'expertise chirurgicale requise, le coût élevé de la procédure (autour de 100.000 euros), la durée de rééducation et d'apprentissage d'environ un an avec un poids élevé de la prothèse (autour de 8 kg), principal frein au port permanent de l'appareillage (figure 7).

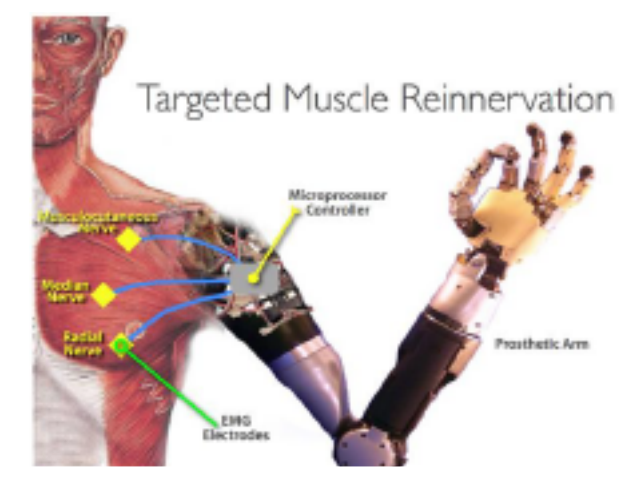


Figure 7.
Apparaillage.

4. Perspectives

Confrontés à de nombreux problèmes dans la prise en charge des brûlés et à des difficultés indéniables dans les différentes voies de recherche entreprises, la meilleure stratégie reste encore la prévention.

4.1. La prévention collective et individuelle

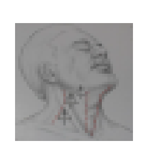
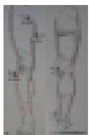
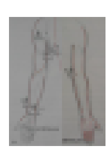
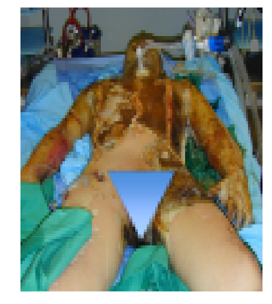
Elle doit être ciblée sur la sécurité incendie : la détection bien sûr, facilitée par la mise en œuvre de détecteurs de fumées dont l'installation est devenue obligatoire ; la protection des bâtiments et enfin l'action vigilante des pompiers sur les bases aériennes ou bâtiments de la marine nationale.

La prévention individuelle relève de progrès techniques et industriels pour la conception de vêtements ignifugés à usage militaire.

4.2. La formation

La prévention est indissociable de la formation, en particulier la formation aux gestes d'urgence que tout chirurgien militaire doit savoir mettre en œuvre, afin de limiter les complications immédiates ainsi que les séquelles fonctionnelles et esthétiques. L'apprentissage des gestes élémentaires tel qu'il est assuré dans le cadre du Cours avancé de chirurgie des missions extérieures (CACHIRMEX), permet de répondre à cet objectif. Trachéotomie, escarrotomies, fasciotomies voire amputations sont des gestes salvateurs pour la vie, le membre et la fonction, assimilables à un véritable *damage control* du brûlé, sans oublier l'importance du traitement des lésions associées (figure 8).



Fifure 8.
Formation aux gestes d'urgence.

4.3. Les perspectives en termes de réparation et remplacement tissulaire et/ou prothétique

Comme Almodovar, on peut tout imaginer mais l'objectif final est unique : cicatriser sans séquelles à défaut d'avoir une peau ignifugée. Les techniques d'impression 3D utilisant des biomatériaux, associées à la colonisation par des cellules autologues avant implantation chez le patient, laissent entrevoir de nouvelles avancées en termes de « *tissue engineering* » [14].

Dans le domaine prothétique, la miniaturisation des composants et les techniques de réinnervation musculaire ciblée peuvent être envisagées aux membres inférieurs, à plus ou moins long terme, permettant la récupération de chevilles actives.

4.4. Réflexion éthique

En dépit de toutes les perspectives ouvertes dans le champ de la prise en charge des brûlés, une réflexion éthique s'impose en termes de réanimation; mais également sur nos actes chirurgicaux et leurs conséquences dans les cas les plus graves, afin de pouvoir concilier la survie avec une qualité de vie acceptable [15].

5. Conclusion

En dépit de tous les moyens modernes de reconstruction et de réhabilitation disponibles, la qualité de vie de nos patients reste bien souvent médiocre et altérée par des difficultés d'ordre socioprofessionnel et affectif. Le génie évolutif de la brûlure en fait une véritable maladie avec ses séquelles esthétiques et fonctionnelles, son retentissement psychologique et son risque de dégénérescence néoplasique faisant dire du brûlé, « brûlé un jour, brûlé toujours ».

L'état des lieux réalisé fait penser que le Graal tant espéré, à savoir le « zéro séquelles », restera encore inaccessible dans un futur proche.

En plus d'améliorer nos compétences techniques, nous devons acquérir la capacité de réfléchir sur la pertinence même de nos indications opératoires.

Les perspectives actuelles sont donc dorénavant plus éthiques que techniques…

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de la leçon de 24 heures (par ordre alphabétique) : Laurent Bargues Marianne Besset, Michel Brachet, Daniel Cantaloube, Mikael Hivelin, Patrick Jault, Anne Lakhel, Jean- Jacques Lataillade, Thomas Leclerc, Jacques Margery, Laurent Mathieu, Coumba Diouf Niang, David Rogez.

Références bibliographiques

[1] Wolf SE, Kauvar DS, Wade CE, Cancio LC, Renz EP, Horvath EE, et al. Comparison between civilian burns and combat burns from operation Iraqi freedom and operation enduring freedom. Ann Surg 2006 June; 243: 786-95.

[2] Lakhel A, Pradier JP, Brachet M, Duhoux A, Duhamel P, Fossat S, et al. Chirurgie des brûlures graves au stade aigu. Encycl Med Chir (Editions scientifiques et médicales Elsevier SAS, Paris), Techniques chirurgicales - Chirurgie plastique reconstructrice et esthétique, 45-157, 2008: 36 p.

[3] Bargues L, Boyer S, Leclerc T, Duhamel P, Bey E. Incidence et microbiologie des complications infectieuses lors d'utilisation de la peau artificielle Integra® chez le brûlé. Ann Chir Plast Esthet. 2009 dec;54:533-9.

[4] Novotny VM, Van Doorn R, Witvliet MD, Claas FH, Brand A. Occurrence of allogenic HLA and non HLA antibodies after transfusion of prestorage filtered platelets and red blood cells : a prospective study. Blood 1995;85:1736-41.

[5] Shelby J, Krob MJ. Transfusion-induced sensitization to skin allografts in burned mice. J Trauma 1986;26:54-6.

[6] Duhamel P, Suberbielle C, Grimbert P, Leclerc T, Jacquelinet C, Audry B, Bargues L, Charron D, Bey E, Lantieri L, Hivelin M. Anti-HLA immunization in

extensively burned patients: Extent, predictors and reduction in the access to Vascularized Composite Allotransplantations. Transplant international. (soumis, en attente d'acceptation).
[7] Robins EV. Immunosuppression of the burned patient. Crit Care Nurs Clin North Am 1989;1:767-74.
[8] Hellinger WC, Crook JE, Heckman MG, Diehl NN, Shalev JA, Zubair AC, et al. Surgical site infection after liver transplantation : risk factors and association with graft loss or death. Transplantation 2009;87:1387-93.
[9] Ong YS, Samuel M, Song C. Meta-analysis of early excision of burns. Burns 2006;32:145-50.
[10] Rheinwald JG, Green H. Epidermal growth factor and the multiplication of cultured human epidermal keratinocytes. Nature 1977;265(5593):421-4.
[11] Cirodde A, Leclerc T, Jault P, Duhamel P, Lataillade JJ, Bargues L. Cultured eptithelial autografts in massive burns: A single-center retrospective study with 63 patients. Burns 2011;37:964-72.
[12] Bey E, Prat M, Duhamel P, Benderitter M, Brachet M, Trompier F; et al. Emerging therapy for improving wound repair of severe radiation burns using local bone-marrow derived stem cell administrations. Wound Rep Reg 2010;18:50-8.
[13] Duhamel P, Bey E, Petit F, Cariou F. Histoire expérimentale et clinique des allotransplantations de tissus composites en chirurgie reconstructrice. Ann Chir Plast Esthet 2007;52:399-413.
[14] Jungebluth P, Alici E, Baiguera S, Le Blanc K, Blomberg P, Bozóky B, et al. Tracheobronchial transplantation with a stem-cell-seeded bioartificial nanocomposite: a proof-of-concept study. Lancet 2011;378(9808):1997-2004.
[15] Murphy AD, Healy C, Purcell E, Fitzgerald E, Kelly JL. An assessment of burn care professionals' attitudes to major burn. Burns 2008;34:51.

Mise en place et perspectives de la microchirurgie dans les pays émergents

Karim El Khatib

1. Introduction

Terme créé par Jacobson en 1960, la microchirurgie vasculaire s'est développée sous l'impulsion de nombreux chirurgiens : l'australien O'Brien (1952-2009), l'américain Buncke (1922 -2008), et les français Baudet et Servant. Si cette technique a intéressé de nombreuses spécialités, c'est en chirurgie plastique et reconstructrice qu'elle a connu le développement le plus probant du fait de l'amélioration du matériel chirurgical, des instruments d'optique mais aussi de la meilleure connaissance des sites donneurs de lambeaux grâce aux travaux de Salmon. La microchirurgie vasculaire était une fiction au début du siècle, maintenant elle peut être assistée par ordinateur et demain nous entrerons peut être dans le domaine de la nano-chirurgie. La microchirurgie n'est pas une spécialité mais un outil à la disposition du chirurgien plasticien pour traiter des lésions diverses dans notre spécialité: son champ d'action va des réimplantations ou des transferts d'orteils jusqu'à la couverture des grandes pertes de substance, qu'elles soient d'origine traumatique, secondaires à de grandes exérèses carcinologiques voire pour réaliser des allogreffes. Après avoir évoqué l'historique de la microchirurgie, je présenterai quelques rappels techniques pour terminer par les possibilités d'applications dans les pays émergents, prenant le Maroc pour exemple, puisque depuis 2007, il fait partie des nouveaux pays émergents.

2. Histoire de la microchirurgie [1]

2.1. Les fondations

La microchirurgie n'aurait jamais vu le jour sans l'apparition antérieure de grandes innovations chirurgicales, médicales et techniques au début du 20e siècle. La première avancée est une technique chirurgicale fondamentale, œuvre d'un français, Alexis Carrel qui décrit la méthode de triangulation pour les anastomoses vasculaires termino-terminales. Cette invention lui vaudra le prix Nobel en 1912. L'autre avancée, médicale cette fois, concerne l'anticoagulation, avec la découverte de l'héparine et de ses applications cliniques, entre 1912 et 1930. Enfin, la dernière innovation qui vient compléter les fondations de la microchirurgie moderne est l'apparition des premiers microscopes opératoires, en Suède, au début des années 20 : d'abord monoculaire, utilisé par Nylen en otologie, il deviendra binoculaire dans les années 50.

2.2. L'émergence de la microchirurgie : les années 60

Il faudra attendre les années 60 pour voir les prémices de la microchirurgie que nous connaissons aujourd'hui. La première micro-suture vasculaire avec microscope est attribuée à Jacobson et Suarez, en 1960. À partir de 1962, plusieurs équipes réussissent enfin des replantations de membres, et certains se servent alors de la microchirurgie : Tamai, au Japon, effectue la première replantation d'un pouce amputé, avec un fil de soie 8/0. Dès 1966, apparaissent les premiers transferts d'orteils pour reconstruire le pouce. Durant cette décennie, un homme multipliera les expériences de réimplantation tissulaire microchirurgicale animale : seul dans son garage qui lui servait de laboratoire, détournant à des fins chirurgicales des instruments d'horloger, le docteur Harry Buncke coupait puis réimplantait des oreilles de lapin, finalement avec succès. Il développera ainsi de nombreux principes et techniques encore valides aujourd'hui, et reste un des pères de la microchirurgie. De nombreux chirurgiens lui emboitent le pas, rivalisant d'inventivité pour créer de nouveaux instruments, et en particulier des clamps vasculaires adaptés à ces micro-sutures. En 1970, les microchirurgiens de toutes spécialités se réunissent en créant la Société Internationale de Microchirurgie.

2.3. Le développement de la microchirurgie : les années 70

C'est l'époque de l'apparition des transferts libres historiques. On parlait de replantation, on voit également apparaître le terme de « lambeau libre ». 1973 est l'année des lambeaux libres d'épiploon, du lambeau inguinal, des premiers transferts musculaires et osseux. En France [2], on commence à mettre le pied à l'étrier, en particulier avec Jacques Baudet, qui réalise les premières réimplantations en Europe, puis décrit en 1976 le lambeau musculo-cutané de *latissimus dorsi* (grand dorsal). Mais la microchirurgie n'intéresse pas seulement les vaisseaux, les techniques de réparation et de greffe des nerfs périphériques progressent parallèlement, s'appuyant sur la connaissance de l'anatomie intra neurale. En 1972, fondée par des plasticiens et des orthopédistes, apparait la Société internationale de microchirurgie reconstructrice. En France, un peu plus tard, le Groupe pour l'avancement de la microchirurgie (GAM) lui fera écho.

2.4. Vers la maturité : de 1981 à 1997

Cette période est marquée par la description d'une grande variété de lambeaux et de nouveaux sites donneurs [3], et les chirurgiens français s'illustreront particulièrement, en application de travaux anatomiques poussés. Ce sont les lambeaux libres scapulaire et parascapulaire, que l'on doit à l'équipe de Baudet, les modifications

apportées au transfert libre de péroné, avec les travaux d'Alain Gilbert sur la voie d'abord, ceux de Jean-Luc Cariou, chirurgien militaire, sur les multiples variantes de prélèvement et de façonnage ostéo-myo-cutané de ce lambeau, et son utilisation en reconstruction faciale mandibulaire. En 1988, Corinne Becker réalise les premiers transferts libres ganglionnaires pour le traitement des lymphœdèmes. En 1989, voit le jour le premier lambeau basé sur une artère perforante de l'artère épigastrique inférieure profonde, ou *Deep Inferior Epigastric artery Perforator Flap* (DIEP), Koshima ouvre l'ère moderne des lambeaux perforants. Basés sur l'anatomie vasculaire de la peau et la connaissance des artères cutanées, ces lambeaux sont en fait l'héritage des travaux anatomiques du marseillais Michel Salmon, travaux qu'il a publiés en 1936! Parallèlement, on note de grandes avancées en microchirurgie nerveuse, dans le traitement des lésions du plexus brachial, avec les transferts du nerf phrénique et les transferts musculaires fonctionnels. On notera l'apport exceptionnel d'Alain Gilbert à ce sujet, sur la réparation du plexus brachial obstétrical.

2.5. La transition : de la transplantation autologue à l'allotransplantation

Pour certains, le futur de la reconstruction microchirurgicale se trouverait dans l'exploration des allotransplantations composites [4]. Si on les savait techniquement réalisables, puisqu'on savait réimplanter un membre amputé, de nombreuses polémiques existaient quant au ratio bénéfice/risque. La première procédure de ce type fut une allotransplantation d'une main en 1998, par l'équipe du professeur Dubernard. En quelques années, plusieurs dizaines de patients bénéficieront de cette technique dans le monde. Toujours en France, en 2005, l'équipe du professeur Devauchelle à Amiens, avec le concours du professeur Dubernard, réussit la première transplantation partielle de la face, incluant nez, lèvre et menton. Ils furent suivis par le professeur Lantiéri en 2007, qui réalisa la première allotransplantation totale du visage en 2010.

3. Rappels

3.1. Principales techniques de sutures microchirurgicales vasculo-nerveuses

Le multiplication des indications de lambeaux libres a contribué au développement d'un axe de recherche autour des techniques de sutures vasculo-nerveuses permettant la réalisation d'anastomoses de façon la moins traumatique possible, diminuant par la-même le risque d'échec [5].

Le fil chirurgical reste, jusqu'à ce jour, le « *gold standard* » en terme de rapport efficacité/coût pour les anastomoses microchirurgicales. Certains artifices techniques permettent un apprentissage systématisé et un gain de temps pendant l'acte chirurgical :

technique de biangulation symétrique suivie soit d'un surjet, soit de points séparés d'une face après l'autre ; suture termino-latérale qui permet de se brancher en série sur un axe vasculaire sans le « sacrifier » ; technique d'artériotomie oblique qui permet de gérer l'incongruence de calibre entre deux vaisseaux à anastomoser.

Les techniques de sutures nerveuses, de réalisation plus simple, font classiquement appel à deux procédés : la suture épineurale et la suture périneurale [6]. Plus qu'un débat d'école, il s'agit de bien maîtriser ces deux techniques et leurs indications. La suture épineurale respecte l'orientation des fascicules, débute par deux points latéraux de 8/0 suivis de sutures de l'épinèvre antérieure puis postérieure après éversion, technique utilisée dans les transferts nerveux lorsque l'épinèvre est fin et rétracté. La suture périneurale est plus complexe car mésonèvre et épinèvre sont disséqués aux ciseaux de microchirurgie, chaque fascicule est suturé par des fils de 10/0. La suture épipérineurale combine les deux techniques. La colle de fibrine peut être ajoutée sur la suture pour augmenter l'adhésion des deux brins. On peut s'aider d'un système de guillotine pour avoir une tranche de section nerveuse parfaite avant la microsuture.

Il existe certaines anastomoses instrumentales, mais aucune de ces techniques n'a prouvé sa supériorité en termes de qualité d'anastomose. Finalement rien ne vaut le fil qui d'ailleurs reste le moins cher.

Les anneaux permettent des anastomoses termino-terminales extraluminales. En 1900, Payr réalise une anastomose avec une prothèse en magnésium, en 1960 Holt et Lewis utilisent une prothèse similaire en téflon avec des crochets. Nakayama en 1962 améliore ce procédé, mais le seul anneau utilisé actuellement et qui a fait preuve de sa fiabilité est le système Unilink/Precise de 3M® mis au point par Ostrup et Berggren dans les années 1980 reprenant le principe de Nakayama avec des anneaux de polyéthylène offrant quatre tailles pour des diamètres de 1 à 2,5 mm.

Les microclips : l'anastomose vasculaire instrumentale par microclips est actuellement le procédé le plus utilisé après le fil. En 1956, Androsov introduit la notion d'agrafage des parois vasculaires. En 1990, Kirsch met au point des microclips en titane qui permettent l'anastomose vasculaire par contact intimal après éversion de la paroi du vaisseau. Depuis 1995, ce système est commercialisé sous le nom de *Vessel Closure System* ou VCS®.

Les stents : en microchirurgie vasculaire, les stents restent encore du domaine de la recherche, et davantage un support d'aide à l'anastomose.

Les colles : deux types sont disponibles, l'une biologique à base de fibrine et l'autre synthétique en cyanoacrylate. Leur utilisation est aisée mais le principal inconvénient est la réaction inflammatoire secondaire pour les colles biologiques et la cytotoxicité pour les colles synthétiques.

Le laser : l'anastomose vasculaire assistée par laser a été expérimentalement introduite en 1979, puis utilisée in vivo en 1984 par Jain et Gorisch. Le laser permet une soudure vasculaire au sein de la media par l'intermédiaire des fibres de collagène et grâce à une élévation de la température.

3.2. Les complications et causes d'échec

La microchirurgie est une technique séduisante, mais elle présente cependant des causes d'échec [7]. Il peut s'agir de malfaçon technique, de mauvaise gestion postopératoire immédiate et de mauvaise gestion du patient par l'équipe soignante. Ce travail d'équipe répond donc a la loi du « tout ou rien ». D'autres causes sont intrinsèques au patient, doivent être recherchées et faire discuter l'indication chirurgicale.

3.2.1. Causes réversibles d'échec

Il existe certains principes fondamentaux, communs aux techniques de microchirurgie, qu'il faudra respecter pour un résultat optimal : faire le moins de manipulations possible, avoir une répartition harmonieuse des sutures avec une transition douce entre le vaisseau receveur et le vaisseau donneur, faire une éversion des berges et un affrontement de l'intima pour chaque suture, éviter l'invagination de l'adventice dans la lumière, obtenir une suture sans tension, ne pas tolérer de fuite, vérifier de façon permanente la perfusion du lambeau microanastomosé et ne pas accepter d'incertitude sur cette perfusion. D'autres causes d'échec sont dues à une mauvaise prise en charge post-opératoire : un réveil du patient difficile avec agitation, toux, hyperpression par manœuvre de Valsalva qui causera un hématome et entraînera des contraintes sur le pédicule ; un mauvais contrôle de la douleur avec des décharges post-opératoires de catécholamines et de facteurs pro-thrombotiques. L'échec peut être la conséquence d'un retard de diagnostic de souffrance vasculaire du lambeau : ceci est jugulé par une information du patient et une éducation des personnels soignants, on peut s'aider d'outils de monitorage permettant de mesurer le flux et la qualité de perfusion des tissus (doppler percutané ou implantable). Enfin, il peut s'agir d'un retard de réintervention : les règles sont de tolérer deux à six heures d'ischémie pour un lambeau musculaire et jusqu'à douze heures pour un lambeau fascio-cutané.

3.2.2. Causes irréversibles d'échec

Certaines causes d'échec sont dues aux antécédents du patient et contre-indiquent un geste de microchirurgie vasculaire : toute pathologie vasculaire à type d'artériosclérose, d'artérite radique, de malformations vasculaires, de drépanocytose, de thrombophilie, héréditaire (facteur V Leyden, déficit des protéines C et S) ou acquise après traumatisme, infection, néoplasie, contraception orale, traitement hormonal substitutif de la ménopause et enfin, certaines maladies systémiques.

4. Qu'est-ce qu'un pays émergent ?

Il en existe plusieurs définitions. La définition peut être économique. Les pays émergents sont des pays dont le PIB par habitant est inférieur à celui des pays

développés, mais qui connaissent une croissance économique rapide, et dont le niveau de vie ainsi que les structures économiques convergent vers ceux des pays développés, ils se distinguent des autres pays de leur catégorie (pays en développement) par des résultats macroéconomiques (production industrielle, emploi) supérieurs et un taux de croissance élevé. Le concept de « pays émergents »est apparu dans les années 1980 avec le développement des marchés boursiers dans les pays en développement. Ainsi, la définition des pays émergents ou d'économies émergentes est longtemps restée assez floue et revenait généralement à qualifier ainsi les pays en développement qui ne font pas partie des pays les moins avancés. Pourtant, des spécialistes ont proposé des critères objectifs pour définir précisément le groupe des pays émergents :

- des revenus intermédiaires : les pays émergents ont un revenu par habitant en parité de pouvoir d'achat (PPA) compris entre 10 et 75 % du revenu moyen de l'Union européenne. Ceci exclut donc les pays les moins avancés et les pays riches ;
- une croissance et un rattrapage économiques : durant la période récente (au moins une décennie) les pays émergents ont connu une croissance supérieure à la moyenne mondiale. Ils connaissent donc une période de rattrapage économique et pèsent de ce fait de plus en plus lourd dans la création de richesses mondiales ;
- des transformations institutionnelles et une ouverture économique : durant la période récente, ces économies ont connu une série de transformations institutionnelles profondes qui les ont davantage intégrées aux échanges mondiaux. L'émergence économique est donc en grande partie issue de la mondialisation.

Parmi les autres critères de définition, les changements structurels sont souvent cités : une rénovation juridique et institutionnelle, un passage d'un type de production agraire à un type industriel et une ouverture au marché mondial des produits et services et aux flux internationaux de capitaux. Au début des années 2010, une soixantaine de pays répondent à ces critères (figure 1). Ensemble, ils représentent près de 50 % de la richesse créée dans le monde et les deux tiers de sa population. Le Maroc fait partie de ces nouveaux pays émergents, il sera notre exemple.

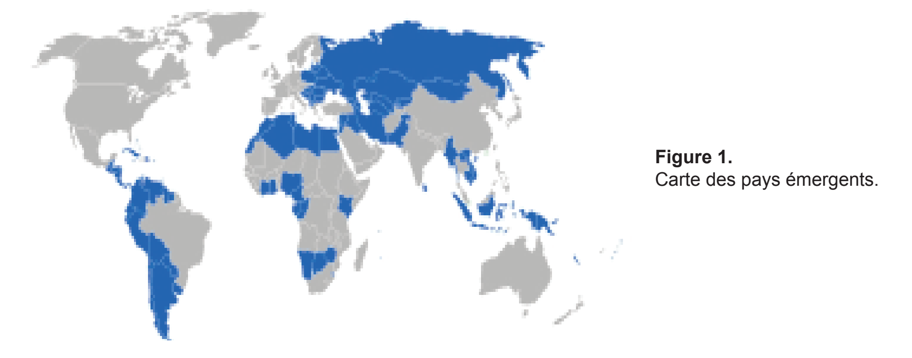


Figure 1.
Carte des pays émergents.

Le Maroc a connu, ces dix dernières années, des réformes profondes de sa justice, de son système éducatif dans le cadre d'une initiative nationale du développement

humain. Cette initiative a pour objectif principal la réforme de la santé par la création des régimes d'assurance et de couverture sociale qui couvrent actuellement une grande partie de la population ainsi que la mise à niveau des infrastructures sanitaires sur l'ensemble du territoire dans le cadre de la régionalisation avancée et la création de centres hospitalo-universitaires (CHU) dans les grandes régions du royaume.

5. A-t-on besoin de microchirurgie reconstructrice dans un pays émergent?

Avant de répondre à cette question, faisons l'état des lieux des actes pratiqués dans notre spécialité. Ce sont toutes les techniques conventionnelles: la cicatrisation dirigée, la greffe de peau avec leur lot de cicatrices vicieuses et de cicatrices inesthétiques.

On distingue plusieurs types de lambeaux :

- les lambeaux loco-régionaux pour reconstruire les pertes de substance cervico-faciales telsle lambeau temporal ou nasogénien en reconstruction de la cavité buccale, le lambeau musculo-cutané de grand pectoral qui peut servir à reconstruire une joue (figure 2), le lambeau deltopectoral qui reconstruit un cou ;



Figure 2. Reconstruction jugale par lambeau myocutané de grand pectoral.

- les lambeaux loco-régionaux de reconstruction du membre supérieur, à pédicule temporaire ou définitif : le lambeau musculo-cutané de grand dorsal qui réanime un coude (figures 3 et 4), le brachial externe, l'interosseux postérieur, le lambeau chinois pour reconstruire une première commissure, le lambeau inguinal qui permet de sauver une main traumatisée ;

- enfin les lambeaux locorégionaux aux membres inférieurs : le lambeau saphène interne qui vient couvrir une face antérieure de jambe, le lambeau neurocutané sural postéro-distal pour reconstruire un talon après exérèse d'un mélanome malin, siège très fréquemment rencontré chez les marocains, les lambeaux musculaires de jumeau interne et d'hémi-soléaire.

Les centres qui peuvent pratiquer ce genre de chirurgie sont peu nombreux et généralement regroupés dans les CHU des grandes villes. Dans la majorité des autres hôpitaux, la pratique repose majoritairement sur des exérèses sans reconstruction et

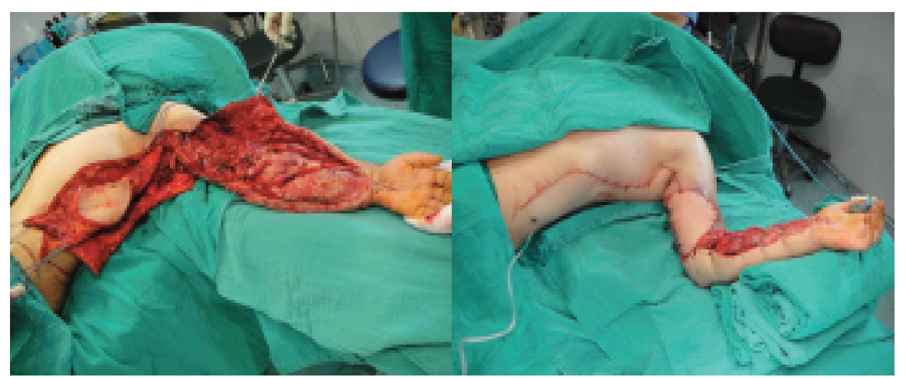


Figure 3.
Délabrement du membre supérieur gauche.

Figure 4.
Reconstruction et réanimation du coude par un lambeau myocutané de grand dorsal.

des amputations. Au Maroc, nous constatons quelques spécificités pathologiques :

- une fréquence des cancers évolués due à un problème de sous-médicalisation d'une certaine tranche de la population rurale qui ne bénéficie pas des dépistages préventifs et dont l'accès au soin reste encore problématique ;

- l'incidence des traumatismes dus aux accidents de la voie publique avec un bilan lourd de milliers de blessés graves présentant de gros délabrements de la face et des membres, avec leur lot d'amputations et de séquelles.

Ces spécificités ne peuvent omettre le contexte militaire avec des traumatismes balistiques de la face entraînant des défigurations importantes, des mains de presse (figures 5 et 6), des coudes de portière et des pieds de mine. Les impasses thérapeutiques face à ce genre de patients sont légion et font discuter de la légitimité du besoin de reconstructions micro-chirurgicales au Maroc.



Figure 5.
Main de presse par explosion de grenade.

Figure 6.
Sauvetage par un lambeau libre musculaire de grand dorsal.

La réponse est bien évidemment « oui » : c'est un réel besoin du fait de ces spécificités pathologiques, davantage ressenti que dans les pays développés car il

permet de faire de réelles économies en termes de durée d'hospitalisation et de coût social de patients présentant des séquelles morphologiques, fonctionnelles et psychologiques lourdes. Les meilleurs exemples restent ceux du Brésil et de la Chine, pays à population nombreuse dans lesquels existe une forte demande de réparation et où l'apprentissage de la microchirurgie connaît une courbe exponentielle, à tel point que les praticiens de notre spécialité sont actuellement les référents mondiaux dans ce domaine.

6. Peut-on faire de la microchirurgie dans un pays émergent ?

6.1. Le coût

L'écueil évoqué immédiatement est d'ordre pécuniaire, mais en fait, actuellement l'argent n'est plus un frein, on arrive toujours à en trouver par un moyen ou par un autre, alors quels pourraient être les autres facteurs limitant le développement de cette technique ?

6.2. Les ressources humaines

Il faut sélectionner les chirurgiens à former à cette technique. Ces derniers doivent être volontaires, motivés, car la courbe d'apprentissage est incompressible. Ils doivent avoir une vision globale de la spécialité, imposant de recourir à des chirurgiens confirmés, et de ne pas tomber dans le piège de former des microchirurgiens-techniciens hyperspécialisés. Il faut former des médecins qui raisonnent sur des indications opératoires. Cet apprentissage se fera à travers une formation payante de type « Diplôme Universitaire ». Le frein des ressources humaines n'en est pas un car nous disposons au Maroc d'un potentiel de médecins remplissant tous ces critères.

6.3. La formation pratique et théorique

Il faut mettre en place un laboratoire de microchirurgie expérimentale qui devra disposer d'une animalerie (figure 7) tout en sachant qu'il y a des moyens autres pour apprendre tels que l'entraînement sur des cordons ombilicaux récupérés dans les services d'obstétrique ou des « *trainers* » de fabrication artisanale qui permettent d'améliorer sa dextérité comme par exemple la « double horloge » utilisée à Lille [8].



Figure 7.
Anesthésie générale d'un lapin au laboratoire de microchirurgie de la faculté de médecine de Marrakech.

6.4. Les instruments

Il existe sur le marché des instruments en acier inoxydable de bonne qualité fabriqués au Pakistan ou en Chine, qui reviennent à un coût d'environ 150 euros la boite complète de microchirurgie (figure 8). Pour l'entraînement sur animal, on utilise du fil périmé, une aiguille ronde qui peut être fournie par des sociétés pharmaceutiques. Le fil ophtalmologique à aiguilles spatulées disponible dans nos hôpitaux est, quant à lui, inadapté pour faire des sutures vasculaires. Enfin les microscopes peuvent être une limite logistique à ce genre de chirurgie mais il existe des loupes binoculaires à différents grossissements qui coûtent beaucoup moins cher et peuvent faire l'affaire dans la majorité des cas.



Figure 8.
Boite de microchirurgie de fabrication chinoise.

6.5. Le plateau technique

Il n'est pas spécifique et ne nécessite pas d'autres matériels que ceux présents dans un bloc opératoire classique.

6.6. Le personnel qualifié

Il s'agit là d'un véritable problème qui se pose même dans les pays développés par manque de personnel. Les aides opératoires doivent être bien entraînés, il faut veiller à la formation continue des internes et des résidents. Les anesthésistes doivent être sensibilisés à cette chirurgie pour bien gérer le patient pendant l'intervention : diminuer ou au contraire augmenter la perfusion tissulaire en jouant sur la pression artérielle et ce, en fonction des différents moments de l'intervention ; maîtriser les protocoles d'anticoagulation per et post opératoires. Il faut une équipe paramédicale formée à la surveillance clinique post-opératoire d'un lambeau qui puisse reconnaître rapidement les signes de souffrance vasculaire.

6.7. Le recrutement de patients

Toute la population ne pourra pas être prise en charge, nécessitant des critères de sélection : les patients doivent être jeunes, en activité, et disposer d' une couverture sociale.

6.8. Partenariat

Trois ou quatre grands centres dans les CHU suffisent avec une consultation avancée dans les hôpitaux périphériques pour former un réseau de soin national. Un partenariat national entre militaires et civils est également intéressant dans les pays émergents où l'armée a toujours un peu plus de moyens, avec des patients solvables car tous les militaires ont une couverture sociale, et de ce fait, c'est souvent dans les hôpitaux militaires que l'on trouve les équipements les plus modernes et où les nouvelles techniques sont expérimentées. Parallèlement, il faut mettre en place une formation médicale continue ce qui permettra d'avoir des formateurs de formateurs. Il faut également établir un partenariat international avec des centres étrangers, surtout au début, pour éviter de reproduire les erreurs des autres.

En somme de toutes ces interrogations, nous concluons à la légitimité incontestable de la microchirurgie dans les pays émergents.

7. Stratégie de mise en place dans un pays émergent

Au niveau pratique, débuter par les reconstructions des membres avec des lambeaux simples à prélever comme le lambeau musculaire de grand dorsal. Cela nécessite une bonne coopération et une coordination avec les équipes traumatologiques : un lambeau libre se compliquant sur un membre n'engagera au pire que le pronostic fonctionnel du membre alors que sur la face le pronostic vital peut être engagé. Ceci justifie le regroupement des services de chirurgie maxillo-faciale et chirurgie plastique dans un même centre, permettant aux jeunes chirurgiens maxillo-faciaux en formation de faire leur courbe d'apprentissage en reconstruction des membres.

Une fois la technique maîtrisée, passer aux lambeaux plus techniques comme le transfert composite libre vascularisé de fibula pour reconstruire un étage inférieur de la face.

Il faut toujours garder à l'esprit la nécessité d'une approche intellectuelle concernant la formation, aidée par la mise en place de réunions de concertation pluridisciplinaire dans les grands centres, espaces d'échange, de référencement et de discussion des cas limites et complexes. La veille documentaire permet l'actualisation continue des connaissances et les progrès des techniques microchirurgicales.

8. Perspectives d'avenir

Avant de vous exposer les perspectives d'avenir de la microchirurgie dans les pays émergents, essayons d'analyser son évolution dans les pays développés. La microchirurgie est une technique assez récente, elle a été en plein essor de 1970 à 1990 avec la description de nombreux lambeaux, ceci a permis d'approfondir les

connaissances en anatomie et en vascularisation cutanée avec la description des angiosomes par Taylor en 1987. Nous assistons actuellement à une évolution de la chirurgie reconstructrice. L'enjeu absolu reste le pronostic vital ou le sauvetage d'un membre mais le but n'est plus seulement de combler une perte de substance : le chirurgien reconstructeur doit opter pour la technique lui assurant une reconstruction satisfaisante sur le plan esthétique et fonctionnel tout en limitant la morbidité du site donneur du lambeau. À ces paramètres techniques se rajoutent les enjeux économiques compte tenu du plateau technique et de l'équipe médicale et paramédicale nécessaires à l'intervention.

Sur le plan technique, la supermicrochirurgie est apparue en 2010 [9]. Elle correspond en fait à une anastomose termino-terminale artérielle ou veineuse pour des calibres de 0,8 à 0,5 mm. Ce diamètre correspond au diamètre des pédicules de la majorité des lambeaux perforants que nous utilisons depuis. Le recours à ces lambeaux fascio-cutanés permet de limiter la morbidité du site donneur. Un très bon exemple est le DIEP qui permet de limiter la morbidité au niveau de la paroi abdominale en laissant en place la sangle musculaire lors du prélèvement chirurgical. Cette supermicrochirurgie permet en fait d'éviter une dissection souvent complexe des axes vasculaires, en sectionnant la perforante et en l'anastomosant directement à un vaisseau de même calibre. On utilise également cette technique pour le traitement des lymphœdèmes en réalisant des anastomoses lymphatico-veineuses.

Un des autres axes actuels de recherche est de restituer *ad integrum* le corps meurtri en apportant les tissus correspondants à la perte tissulaire sans créer de séquelles sur le site donneur, donc en prélevant sur un autre corps humain ou en fabriquant le lambeau *in vitro*. Un des facteurs limitants étant que la peau est le tissu le plus immu-nogénique de l'organisme, cette technique n'a pu voir le jour qu'avec l'apport des immunosuppresseurs dont le premier a été la ciclosporine, à l'origine d'une révolution pronostique dans le domaine des greffes d'organes depuis 1976. L'allotransplantation de greffons pluritissulaires s'est développée depuis. Les greffons sont prélevés chez un patient donneur en état de mort cérébrale sans lien de parenté avec le receveur. Les tissus prélevés sont ensuite anastomosés par la technique micro-chirurgicale pour couvrir le déficit tissulaire. La première transplantation de main revient à l'équipe de Dubernard à Lyon et la première allo-transplantation de greffe totale du visage, plus de 10 ans plus tard, a été réalisée par Lantieri. Actuellement, les indications sont limitées à des handicaps majeurs pour lesquels aucun recours thérapeutique actuel n'est réalisable et un traitement immuno-supresseur à vie est jugé acceptable. Il faut pour cela bien sélectionner les patients qui devront être compliants et prêts à bénéficier d'un suivi rapproché (figure 9). En 2004, le candidat idéal pour l'allogreffe totale de visage était selon l'équipe de Bellavoir un soldat car jeune, en bon état général, et prêt à servir la nation.

Le rapport bénéfice/risque doit être minutieusement évalué au cas par cas et le comité consultatif national d'éthique doit être consulté.



Figure 9.
Quelques cas de patients ayant bénéficié d'une allogreffe de la face.

Les limites de cette technique sont tout d'abord immunologiques : les objectifs de la recherche en immunothérapie sont désormais de réduire les complications infectieuses, métaboliques et carcinologiques de l'immuno-suppression prolongée et d'éviter la dégradation progressive de la fonction des greffons. Cette évolution défavorable est appelée « rejet chronique », ses causes sont mal connues. Le coût du traitement est également un frein majeur. Sur le plan éthique, le corps humain ne doit pas devenir une banque d'organes mais parallèlement, la société doit accepter le prélèvement et la transplantation de tissu de patient décédé. Enfin, sur le plan technique, tout n'est pas encore maîtrisé concernant la manipulation de très petits vaisseaux, la physiologie vasculaire, les traitements anticoagulants et antiagrégants plaquettaires.

Le futur verra se développer l'utilisation, en microchirurgie, des robots chirurgicaux largement employés en urologie, en ORL et en chirurgie pédiatrique depuis 2011. Ils ont pour avantage de réduire le tremblement de l'opérateur, de limiter sa fatigue avec sept degrés de liberté contrairement au poignet de l'homme qui n'en dispose que de trois. Son problème reste son coût, évalué à deux millions d'euros, et le temps d'apprentissage car le chirurgien n'aura pas de sensation tactile quand il touchera un organe à l'aide des pinces. Son utilisation devrait se limiter aux localisations d'anastomoses difficiles d'accès.

La première intervention micro-chirurgicale en apesanteur, réalisé en 2003 par Martin avait comme finalité de développer la téléchirurgie par satellite, autre voie de recherche dans ce domaine [10].

9. Conclusion

Dans les années à venir, nous assisterons certainement à de nouvelles révolutions compte tenu des progrès réalisés dans le domaine de la robotique, du matériel

d'optique, de l'informatique, du génie génétique et de la compréhension du rôle des cellules souches et des développements de la thérapie cellulaire. Nous pourrons, peut être, fabriquer un lambeau composite sur mesure in vitro à partir des cellules souches mésenchymateuses en apportant des tissus osseux, musculaires et cutanés. Tous ces progrès se feront sous l'égide des sociétés savantes de microchirurgie dont le but sera de promouvoir cette technique, de former les plus jeunes, d'encourager et de diffuser les progrès scientifiques en accord avec les questionnements éthiques.

Dans les pays émergents, les ambitions sont autres. Nous avons démontré qu'il était tout à fait possible de développer la reconstruction microchirurgicale dans un pays émergent, que les facteurs limitants étaient somme toute relatifs, davantage liés à des problèmes humains que matériels.

Dans les pays émergents, la microchirurgie doit être une technique que tout chirurgien plasticien devra maîtriser. Il y recourra, en évitant de poser les indications par excès et en ne recherchant pas l'exploit ou l'inédit microchirurgical. Les techniques de reconstruction conventionnelles garderont ainsi toujours leur place et leurs indications premières. La microchirurgie devra rester un moyen de se sortir d'impasses thérapeutiques, et continuer à se développer dans des centres dédiés, dotés d'équipes entraînées, assurant ainsi leur pérennité. Le renforcement quantitatif et qualitatif des sociétés savantes de microchirurgie sera recherché. En cas de faible ressource de spécialistes dans un État, la question d'une représentation à l'échelle supra-nationale, voire continentale, mérite d'être étudiée.

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de la leçon de 24 heures (par ordre alphabétique): Marianne Besset, Alexandre Duhoux, Sébastien Fossat, Amine Khales, Gabriel Malka.

Références bibliographiques

[1] S. Tamai. History of microsurgery. Plast Reconstruct Surg 2009;124(6suppl) :e282-94.
[2] C. Grinfeder, V. Pinsolle, P. Pelissier, D. Martin, J. Baudet. Apport de la France à la microchirurgie. Ann Chir Plast Esthet.2005;50:2-11.
[3] M. A. Germain, J. Legagneux. La microchirurgie vasculaire et l'essor des transplants libres. Ann Chir 2001;126 :960-8.
[4] F. Petit, A. Paraskevas, I Garrido, L. Lantieri. La transplantation est-elle l'avenir de la microchirurgie ? Ann Chir Plast Esthet 2005;50:76-9.
[5] E. Bey, M. Brachet, F. Lambert, J.-L. Cariou. Microchirurgie : passé, présent, futur. Ann Chir Plast Esthet 2005;50:12-8.
[6] K. L. Colen, M. Choi, D. T. W. Chiu. Nerve grafts and conduits. Plast Reconstruct Surg 2009;124(6 Suppl) :e386-94.

[7] C. J. Salgado, S. L. Moran, S. Mardini. Flap monitoring and patient management. Plast Reconstruct Surg 2009;124(6 Suppl) :e295-302.
[8] L.-A. Dumont, V. Martinot-duquennoy, T. Hubert, P. Guerreschi. La « double horloge » ou comment apprendre la microchirurgie sans animal. Ann Chir Plast Esthet 2011;56:555-7.
[9] Q. Qassemyar, R. Sinna. De la microchirurgie à la « supermicrochirurgie » : étude expérimentale de faisabilité et perspectives. Ann Chir Plast Esthet 2011;56:518-27.
[10] J.-P. Binder. Microchirurgie. Ann Chir Plast Esthet 2010;55 :442-51.

Chaire de chirurgie spéciale appliquée aux armées

Neurochirurgie

Les traumatismes rachidiens en chirurgie de guerre

Arnaud Dagain

1. Introduction

La prise en charge des traumatismes rachidiens en chirurgie de guerre est un réel challenge pour le Service de santé des armées (SSA). Une de ses missions est d'éviter le maximum de morts en opérations et de limiter au minimum les séquelles fonctionnelles dans une pathologie éminemment pourvoyeuse de handicaps lourds. De plus, le SSA souhaite apporter à ses soldats en opération extérieure le même niveau de soins qu'en France, justifiant l'importance des moyens déployés.

La chirurgie de guerre est une chirurgie d'urgence, exercée dans des conditions environnementales hostiles, avec des moyens humains et matériels limités. De plus, la possibilité d'afflux massif de blessés peut imposer un triage afin de déterminer les priorités de traitement. Le rachis est particulièrement concerné dans ces conflits polymorphes et asymétriques durant lesquels le soldat est soumis à de multiples dangers qu'ils soient directs sous le feu de l'ennemi ou environnementaux.

Le traumatisme rachidien se définit comme l'atteinte d'un contenant, l'axe rachidien (étui ostéo-disco-ligamentaire) et d'un contenu, moelle épinière, racines nerveuses, structures vasculaires, méningées et liquide cérébro-spinal. Ces traumatismes peuvent être ouverts ou fermés. Les lésions associées à ces traumatismes sont fréquentes et en font toute la gravité dans ce contexte d'isolement.

Peu d'articles dans la littérature traitent des traumatismes rachidiens en chirurgie de guerre. Une revue récente retrouvait seulement 11 études rétrospectives publiées après la guerre du Vietnam [1].

Il s'agit toutefois d'un sujet important, du fait de sa fréquence, et des difficultés de prise en charge qu'il occasionne. Il n'existe pas de réel consensus sur la place de la chirurgie dans les traumatismes rachidiens pénétrants, avec les problèmes liés aux lésions associées, aux plaies souvent délabrantes entraînant parfois des difficultés de recouvrement.

2. Historique [2, 3]

Les traumatismes du rachis liés aux faits de guerre sont rapportés depuis l'Antiquité. Le papyrus d'Edwin Smith (-1700 avant J.C.), décrit déjà un certain nombre de lésions rachidiennes au combat. Il aborde le traitement des plaies ouvertes cervicales par immobilisation et soins locaux et n'autorise aucun espoir pour les patients « inconscients des bras et des jambes ». Dans l'Iliade d'Homère, Hector blesse

mortellement d'un coup de lance à la nuque Eioneus qui s'effondre paralysé (« perd ses jambes »). Galien (IIe siècle après J.C.) décrit probablement le premier, le syndrome de Brown-Sequard chez un gladiateur. Les descriptions des chirurgiens militaires grecs rendent compte de la protection du combattant privilégiant la tête, le torse et les membres et découvrant la nuque. La mortalité importante est alors liée aux lésions associées vasculaires, digestives et respiratoires. Paul d'Egine (VIIe siècle) devient le premier chirurgien à réaliser une décompression médullaire. Il faut attendre Ambroise Paré (XVIe siècle) pour obtenir des descriptions précises des traumatismes du rachis avec en particulier les plaies par arquebuse. Il préconise une décompression médullaire et invente le corset pour le traitement des fractures dorso-lombaires.

Au XIXe siècle, l'incidence des traumatismes du rachis dans les conflits armés augmente du fait de l'évolution des projectiles et des armes à feu. La principale conséquence est le développement d'un système de triage et de relevage des blessés à l'initiative du Baron Dominique-Jean Larrey, chirurgien en chef de la Grande armée de Napoléon.

La Guerre de sécession (1861-1865) permet l'apparition des principes généraux de prise en charge. La doctrine en vigueur, qui repose sur des données statistiques péjoratives plaide pour l'absence de chirurgie ou un traitement d'attente pour les cas avec atteinte neurologique contrastant avec la tendance à l'intervention rapide et agressive des chirurgiens de guerre. Le taux de mortalité des traumatismes pénétrants lombaires était de 46 %, contre 70 % pour l'étage cervical.

Entre la Guerre de sécession et la Première Guerre mondiale, deux avancées médicales permettront d'améliorer la prise en charge, sur le versant diagnostique grâce à la réalisation des premières radiographies et sur le versant thérapeutique grâce à l'antisepsie selon Lister.

Au cours de la Première Guerre mondiale, les traumatismes incomplets de la moelle épinière sont identifiés comme étant de meilleur pronostic fonctionnel. La stabilisation des foyers fracturaires apparaît au cours du deuxième conflit mondial. Les progrès vont ensuite permettre de baisser significativement la mortalité opératoire de ces traumatismes, de 62,2 % (Première Guerre mondiale), à 11,4 % (Deuxième Guerre mondiale) puis moins de 1 % (guerre de Corée).

La découverte des antibiotiques et l'emploi des transfusions de produits sanguins labiles autorisent des gestes chirurgicaux plus agressifs, plus complexes et plus précoces. On observe l'essor de la chirurgie de stabilisation et de décompression, permettant la survie des paraplégiques alors exposés à des complications au long cours, notamment urinaires. L'amélioration des temps de transferts depuis le champ de bataille jusqu'au bloc opératoire grâce aux hélicoptères autorise l'emploi des mêmes techniques chirurgicales en chirurgie de guerre qu'en chirurgie civile.

Le conflit vietnamien sera à l'origine de la publication de deux séries importantes : celle de Jacobson, à propos de 114 blessés pris en charge de 1965 à 1969 dont 107 ont bénéficié d'un abord neurochirurgical et celle de Jacobs, en 1971, concernant 43 lésions

médullaires de guerre dont 32 plaies vertébro-médullaires et onze traumatismes fermés. La dualité des lésions médullaires en circonstances de conflit (lésions ouvertes – traumatismes fermés) commence à être prise en compte par les neurochirurgiens, le dénominateur commun de ces groupes étant représenté par la lésion neurologique. Toutes les plaies vertébro-médullaires de cette série ont été opérées, un traumatisme fermé sur deux l'a été ; la mortalité globale de cette série était de 2,3 %.

Au cours du conflit en ex-Yougoslavie et de la première guerre du Golfe, les moyens de protection sont optimisés avec casque et gilet pare-balles, permettant la diminution du nombre de lésions balistiques vitales. Parmi 96 blessés croates (Yougoslavie 1991-1995), la majorité des blessures était due aux explosions avec 83 % de fractures rachidiennes, et 81 % d'atteinte neurologique, 28 % d'entre eux sont opérés dont 22 % sont stabilisés par ostéosynthèses rachidiennes. Durant l'invasion du Koweït, 6,3 % des blessés ont présenté un traumatisme rachidien dont 50 % ont bénéficié d'un acte chirurgical. Parmi les soldats tués en action, 30 % avaient un traumatisme du rachis.

En dépit de l'amélioration des moyens offensifs et défensifs, ce sont les nouvelles stratégies de guerre avec l'émergence des conflits asymétriques et l'emploi d'armes non conventionnelles, qui modifient les mécanismes vulnérants et les plaies. En Irak et en Afghanistan, les traumatismes intéressent préférentiellement l'extrémité céphalique et le rachis cervical [4]. Les lésions par blast sont prédominantes, avec l'emploi d'engins explosifs improvisés [5, 6]. Il y a cependant une amélioration de la survie sur des lésions autrefois fatales (amélioration des délais d'évacuation et des compétences techniques).

3. Épidémiologie

Les données épidémiologiques les plus récentes portant sur les traumatismes rachidiens de guerre sont américaines, via le *Joint Theater Trauma Registry* (JTTR). Sur 10 979 patients évacués des territoires d'Irak et d'Afghanistan de 2001 à 2009, 598 patients présentaient un traumatisme du rachis, dont 502 liés à un acte de guerre [7]. La proportion de blessés rachidiens est ainsi de 5,45 % (4,57 % pour les lésions de guerre).

Le mécanisme du traumatisme [4] est dominé par les explosions (60,1 %), puis les accidents de la route (22,1 %), les plaies par armes à feu (15,1 %) et les chutes (2,7 %). Il s'agit d'un traumatisme fermé dans presque 62 % des cas (contre 94,7 % pour les traumatismes non liés à un acte de guerre). Il existe une atteinte médullaire dans 5,2 % des cas, ce qui est comparable à ce qui est observé dans la population civile (5,4 %).

Les lésions osseuses observées sont dominées par les fractures des apophyses épineuses et transversaires (37,35 %), stables, puis les fractures compression (16,8 %) et les burst fractures (8,5 %). Il s'agit enfin de fractures multiples dans 76 % des cas.

Le rachis lombaire est le plus souvent concerné (61 % pour les traumatismes fermés, 47 % pour les ouverts), puis le rachis thoracique (35 % / 33 %), et le rachis cervical (24 % / 27 %). À noter la fréquence non négligeable des fractures du sacrum (10,3 %) et l'atteinte préférentielle de la charnière thoraco-lombaire (T10-L3 : 30 %).

Une publication récente s'est intéressée à l'incidence des lésions rachidiennes chez les soldats morts durant des actions de combat [8]. Sur 5 424 militaires américains décédés, 2 089 présentaient une lésion rachidienne (38,5 %). Combiné avec la proportion des traumatismes rachidiens chez les survivants, le taux global d'atteinte de l'axe spinal au cours d'un acte de guerre est de 12 %. Le mécanisme du traumatisme est le même que chez le groupe des survivants, le type d'atteinte est cependant différent, avec un taux élevé de dislocations occipito-cervicales (18 %) et de sections médullaires (18 %). Il n'est cependant pas précisé si l'atteinte rachidienne est directement responsable du décès du soldat.

Il existe des lésions associées chez 68 % des patients [7]. Il s'agit le plus souvent de lésions musculo-squelettiques, puis pulmonaires, abdominales et de l'extrémité céphalique. Elles dépendent du type de mécanisme lésionnel (plus fréquentes en cas d'explosion) et de l'étage rachidien concerné. Ainsi, 40 % des patients avec fractures du rachis lombosacré présentent un traumatisme abdominal ; 42 % des patients avec fractures du rachis cervical ont un traumatisme crânien associé.

Il n'existe pas de données sur les séquelles fonctionnelles liées au traumatisme rachidien en contexte de guerre. Une étude rétrospective du JTTR sur 2 101 lésions du rachis met en évidence une récupération moindre des lésions chirurgicales liées au combat [9].

Les traumatismes rachidiens représentent une part importante de l'activité du neurochirurgien en temps de guerre. Ainsi, Einsenburg a rapporté la prise en charge d'un traumatisme rachidien un jour sur deux au sein d'un *Role 3* américain en Afghanistan [10]. L'expérience allemande sur ce même théâtre d'opération montre que les traumatismes rachidiens peuvent représenter la majorité des lésions neurochirurgicales [11]. La publication originale de l'activité de l'équipe mobile neurochirurgicale française montre que les traumatismes rachidiens sont la deuxième cause d'intervention [12].

4. Physiopathologie et classification

4.1. Les traumatismes rachidiens fermés

À l'instar de la traumatologie en milieu civil, ils peuvent être présentés par segments rachidiens et classés par mécanismes lésionnels.

Ainsi le rachis cervical haut (occiput, atlas et axis) est le siège de lésions ostéo-articulaires : luxations occipito-atloïdiennes, fractures de C1, de C2.

Le rachis cervical bas (C3 à C7) est préférentiellement le siège de lésions en

flexion-extension intéressant l'appareil ligamento-capsulaire et articulaire : luxation cervicale, fracture.

Pour les segments thoracique et lombaire, les mécanismes lésionnels sont répartis en compression, en distraction, et en rotation, avec un degré de comminution corporéale variable.

4.2. Les traumatismes rachidiens ouverts [2]

Historiquement la classification de Carayon distingue :

- les plaies pénétrantes (33 % des cas) : le projectile traverse le canal rachidien et reste inclus engendrant généralement des dégâts médullaires majeurs ;

- les plaies transfixiantes (12 %) : le projectile traverse le canal rachidien sans s'y arrêter, engendrant des lésions osseuses et discales surajoutées, majorant l'attrition médullaire ;

- les plaies tangentielles pénétrantes (50 %) : le projectile n'entre pas dans le canal rachidien mais y projette des esquilles vulnérantes ;

- les plaies tangentielles non pénétrantes (5 %) : le projectile n'entre pas dans le canal rachidien mais y projette des esquilles non vulnérantes.

Cette classification est peu pratique car n'aboutissant pas à un algorithme décisionnel particulier. Finalement, la classification proposée dans le manuel de chirurgie de guerre d'urgence de l'OTAN publié en 1962 reste d'actualité. Elle différencie les lésions directes de la moelle ou des racines (liées à l'action directe d'un projectile ou d'esquilles osseuses compressives) aux lésions indirectes (consécutives au passage à grande vitesse d'un projectile au voisinage de l'axe vertébral). La moelle épinière est de densité proche de l'eau, peu élastique, ce qui la rend très fragile aux effets liés à la cavitation temporaire, occasionnant des dommages neurologiques définitifs.

4.3. Notions de stabilité rachidienne

La stabilité vertébrale garantit la capacité du rachis à protéger les éléments intra-canalaires lors des mouvements physiologiques du corps humain. Elle repose sur l'analyse des structures ostéo-disco-ligamentaires qui le composent. En traumatologie, plusieurs classifications pour apprécier la stabilité d'une fracture sont disponibles. La plus utilisée est celle de Magerl, qui divise ainsi les lésions en trois groupes : A (fractures en compression), B (fractures en distraction), et C (fractures en rotation). Seules les fractures en compression sans ou avec un recul très modéré du mur postérieur sont considérées comme stables. Toutefois, cette classification n'est pas valide pour catégoriser une instabilité après traumatisme balistique, puisque le mécanisme lésionnel est différent. On peut alors s'aider de la classification de Louis, qui se base sur l'analyse de trois colonnes assurant la stabilité de l'axe vertébral : la colonne antérieure correspond à l'empilement des corps vertébraux et des disques, les

deux autres colonnes correspondent à l'empilement des articulations vertébrales postérieures, droite et gauche. Toute atteinte d'au moins deux colonnes signe une instabilité vertébrale. En pratique, les lésions balistiques sont rarement instables.

5. Modalités de prise en charge

5.1. Principes généraux

Le soutien médical en opérations doit, par son organisation, permettre le respect des différents délais de prise en charge d'un blessé. L'hémorragie est la première cause de décès des blessés de guerre. La réalisation de l'hémostase est une priorité. Le patient doit avoir reçu, au minimum, les premiers soins en rapport avec le « sauvetage de combat » dans les 10 minutes qui suivent la blessure (*ten minutes platinium*); la médicalisation du blessé doit être faite dans les 30 minutes ; l'évacuation de ce blessé doit pouvoir se faire dans l'heure (*golden hour*) prioritairement par un moyen héliporté médicalisé vers une unité médico-chirurgicale opérationnelle où aura lieu une prise en charge chirurgicale appliquant les principes du *Damage control*. L'évacuation du blessé peut être soumise aux aléas de la disponibilité des vecteurs aériens et à la maîtrise de



Figures 1a et 1b.
Accident de VAB dans une vallée afghane. Évacuation d'un patient présentant une entorse cervicale vers le *Role 3*.

l'espace aérien. En temps de guerre, la distance de la première structure chirurgicale disponible peut être très variable en fonction des zones de conflit, et la compétence rachidienne peut manquer (figures 1a et 1b).

Au niveau de la relève du blessé, la priorité est à la prise en charge des défaillances vitales et à la mise en condition d'évacuation, qui ne sont possibles qu'après avoir soustrait le blessé et l'équipe aux dangers liés au combat. Le piège est ici de ne pas diagnostiquer une lésion rachidienne qui pourrait être aggravée par la mobilisation du blessé en l'absence des mesures élémentaires de protection du rachis. Tout patient conscient doit bénéficier d'un examen simplifié à la recherche de déficits neurologiques

et/ou de douleurs rachidiennes. En présence d'un de ces signes ou chez un blessé inconscient, l'immobilisation du rachis et le respect de l'axe tête-cou-tronc doivent être la règle avec pose d'un collier cervical rigide triple appui et d'un matelas à dépression. En présence d'un traumatisme rachidien ouvert, une antibiothérapie parentérale est d'emblée débutée. L'examen clinique et les premières mesures thérapeutiques sont consignés sur la fiche médicale de l'avant.

L'évacuation tactique conduit le blessé vers une structure chirurgicale de l'avant (*Role 2*). La prise en charge du blessé à ce niveau repose sur le principe de *Damage control resuscitation and surgery* dont le but principal est de faire l'hémostase le plus rapidement possible de l'ensemble des lésions hémorragiques et de stabiliser les constantes vitales. À ce niveau, le traitement des lésions vertébro-médullaires n'est pas une priorité ; cependant la possibilité de son existence doit être prise en compte et imposer de maintenir l'immobilité de l'axe tête-cou-tronc tout au long de la prise en charge au *Role 2*. En cas d'afflux massif de blessés, les traumatismes rachidiens correspondent à des urgences relatives, T2, à savoir un traitement chirurgical urgent mais pouvant être différé sans mettre en jeu le pronostic vital.

À l'issue de la prise en charge au *Role 2*, le blessé suspect de traumatisme rachidien devra être évacué sur une structure médico-chirurgicale (*Role 3*) où l'attend le chirurgien rachidien ; sur certains théâtres, en l'absence de *Role 3*, le chirurgien du rachis pourra être projeté au niveau d'une structure de type *Role 2* ; ou bien le blessé sera évacué directement vers un hôpital d'infrastructure (*Role 4*).

5.2. Examen clinique

L'inspection et la palpation de l'axe rachidien permettent la recherche d'une voussure, d'un hématome, d'orifices balistiques d'entrée ou de sortie. À ce niveau, on peut constater, assez rarement d'ailleurs, un écoulement de liquide cérébro-spinal.

Chez le patient conscient, l'examen neurologique doit évaluer la motricité et la sensibilité de l'ensemble du corps incluant la recherche de troubles sphinctériens. La fonction des muscles est cotée de 0 à 5 (0 : pas de contraction, 1 : contraction sans déplacement, 2 : déplacement sur le plan du lit impossible contre pesanteur, 3 : déplacement contre pesanteur possible, impossible contre résistance, 4 : mouvement contre résistance possible mais non optimal, 5 : mouvement normal). La sensibilité est cotée 0 (absence de sensibilité), 1 (hypoesthésie) ou 2 (sensibilité normale). Au terme de cet examen, le patient peut être défini comme non déficitaire, déficitaire incomplet ou complet. De façon plus précise le score ASIA (*American Spinal Injury Association*) permet de différencier les patients selon les données de l'examen :

A : déficit complet : aucune motricité ni sensibilité sous le niveau lésionnel, incluant les métamères S4 et S5 (sensibilité péri anale) ;

B : déficit incomplet : aucune motricité sous le niveau lésionnel, préservation d'une sensibilité, dont les métamères S4 et S5 ;

C : déficit incomplet : présence d'une fonction motrice sous le niveau lésionnel, plus de la moitié des muscles ayant un score < 3 ;

D : déficit incomplet : présence d'une fonction motrice sous le niveau lésionnel, plus de la moitié des muscles ayant un score ≥ 3.

E : absence de déficit sensitif et moteur.

Cet examen neurologique mettra en évidence différents tableaux :

• Le syndrome de Brown-Séquard ou syndrome d'hémisection médullaire associe un déficit moteur et une abolition de la sensibilité profonde du côté de la lésion médullaire et une abolition de la sensibilité thermo-algique contro-latérale à la lésion. Ce syndrome est plus généralement rencontré dans les plaies par arme blanche.

• Le syndrome central de la moelle associe une diplégie brachiale, un déficit incomplet des membres inférieurs, des troubles sphinctériens et des douleurs radiculaires.

• Le syndrome antérieur de la moelle épinière associe un déficit de la motricité et de la sensibilité thermo-algique. Les sensibilités proprioceptive et épicritique sont respectées.

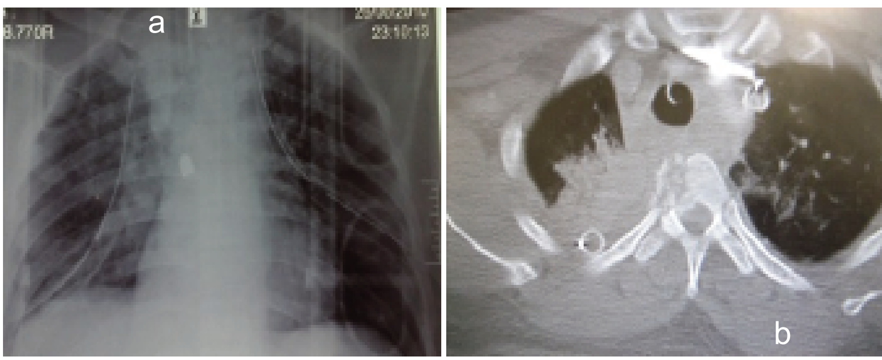
• Le syndrome postérieur de la moelle épinière s'exprime essentiellement sur un mode sensitif. Il associe des douleurs, une perte de la sensibilité épicritique et profonde et une hyperesthésie superficielle.

• Le choc spinal est un tableau médullaire déficitaire associé à une instabilité hémodynamique non expliquée par une lésion hémorragique.

Si le blessé est inconscient, l'examen neurologique est impossible et on devra se contenter des éléments donnés par l'examen initial au relevage.

5.3. Imagerie

Les radiographies standard gardent leur place dans les explorations rachidiennes du blessé de guerre quand la structure médico-chirurgicale ne dispose pas de scanner. Elles restent souvent difficiles à réaliser et permettent une appréciation imprécise des lésions osseuses et ligamentaires (figures 2a et 2b). Les radiographies standard de face



Figures 2a et 2b.
Radiographie pulmonaire avec une balle para-vertébrale droite.
L'atteinte rachidienne est confirmée par le scanner.

et de profil peuvent mettre en évidence la présence de projectile, éventuellement son trajet. Elles montrent les lésions vertébrales, les déplacements fracturaires, l'atteinte des pédicules et des articulaires.

L'examen de référence reste le scanner rachidien (figures 3 et 4). Il est souvent réalisé dans le cadre d'un scanner corps entier pour polytraumatisme sans et avec injection de produit de contraste. Cet examen permet de mettre en évidence des lésions osseuses vertébrales et des lésions intra-canalaires comme une hernie discale traumatique, un hématome intra-canalaire ou un fragment osseux compressif. Les agents balistiques génèrent des artéfacts mais on peut apprécier leur localisation et leur trajet. On va rechercher l'intégrité du mur postérieur de la vertèbre sur les coupes axiales ou sur des reconstructions sagittales. On recherchera également les atteintes des pédicules et des articulaires. Enfin, l'artère vertébrale peut être parfois visualisée

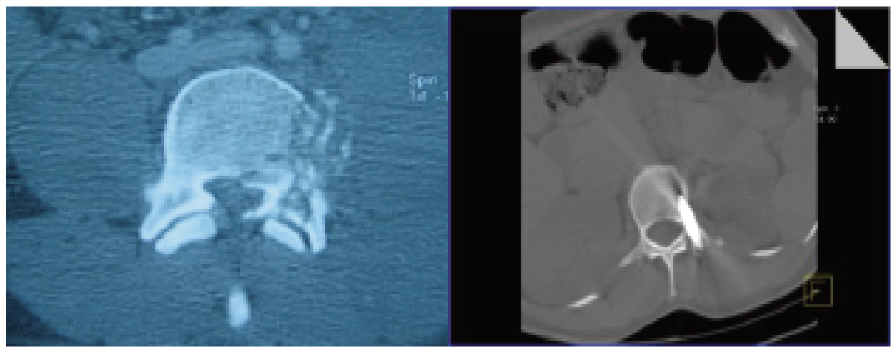


Figure 3.
Scanner lombaire, coupe axiale, fracture balistique du pédicule de la quatrième vertèbre lombaire.

Figure 4.
Scanner rachidien, coupe axiale, balle positionnée dans le pédicule de L1 gauche.

après injection de produit de contraste. Toutefois, en fonction de la limitation de la résolution spatiale dans l'axe des Z (nombre de barrettes insuffisant) les reconstructions multi-planaires peuvent manquer.

5.4. Synthèse du bilan lésionnel

La catégorisation du patient se fait donc selon les conclusions de l'examen clinique et l'analyse des lésions rachidiennes.

En pratique, quatre situations sont possibles :

- patient neurologiquement indemne (ASIA E), fracture stable ;
- patient neurologiquement indemne (ASIA E), fracture instable ;
- patient avec déficit incomplet (ASIA B à D), fracture instable ;
- patient avec déficit complet (ASIA A), fracture instable.

À cela se rajoute le caractère ouvert, fermé ou mixte des lésions.

5.5. Traitement chirurgical [1, 2, 5, 6, 9, 13]

L'ensemble des indications et des techniques opératoires ne peuvent être décrites dans ce chapitre. On assiste actuellement à l'apparition de services chirurgicaux dédiés uniquement à la chirurgie du rachis. Toutefois, il n'y a actuellement pas de consensus sur la prise en charge chirurgicale de ces traumatismes [14]. Les indications et les techniques utilisées sont donc souvent question d'école. Seuls les grands principes chirurgicaux seront décrits. Le chirurgien militaire doit prendre en compte les impératifs imposés par la chirurgie de guerre. Le geste chirurgical doit être simple, rapide et efficace. L'hémostase sera parfois rendue difficile par les coagulopathies. On pourra s'aider de compresses ou produits hémostatiques. Dans le même temps le réanimateur corrigera les troubles de la coagulation par des transfusions de produits sanguins et parfois même des techniques d'exception comme la transfusion de sang total.

Dans le concept français, le blessé sera évacué par voie aérienne dans les 24 heures qui suivent le traumatisme.

5.5.1. Buts

Les buts du traitement chirurgical sont de préserver ou de restaurer la stabilité vertébrale, de préserver la fonction neurologique et de contrôler la douleur.

5.5.2. Moyens

La réduction d'une fracture vertébrale s'obtient soit par manœuvre externe de type traction soit de façon sanglante au cours de la chirurgie. À titre d'exemple la réduction d'une luxation cervicale doit être effectuée avec les plus grandes précautions par un opérateur habitué à ce type de geste. Elle consiste à poser un étrier de Gardner (le plus fréquent) au niveau des tubérosités pariétales crâniennes. La manœuvre consiste en une traction dans l'axe du rachis suivie d'une flexion cervicale puis d'une extension cervicale. Cette manœuvre se fait sous contrôle scopique.

En pratique de guerre, les voies d'abord postérieures sont privilégiées aux voies d'abord antérieure et latérale pour décomprimer les structures nerveuses et stabiliser l'axe rachidien. La laminectomie permet un accès rapide et direct au canal rachidien permettant de retirer les esquilles osseuses, les corps étrangers et si besoin de réaliser une duroplastie d'agrandissement. Les ostéosynthèses postérieures permettent une réduction et une stabilisation rachidienne. Les visées sont articulaires pour le rachis cervical et pédiculaires pour le rachis dorso-lombaire. Les traitements percutanés ne sont pas pour l'instant disponibles en chirurgie de guerre.

5.5.3. Indications

Le dogme de Klein et Guiot selon lequel « les indications chirurgicales sont simples à poser, elles sont formelles car les blessés ont tout à gagner et rien à perdre »

a beaucoup évolué. La question la plus importante est de savoir s'il existe une indication de chirurgie décompressive dans le but de restaurer la fonction neurologique chez des patients souvent jeunes, en excellent état général jusque là.

La prise en charge des traumatismes fermés répond aux mêmes principes qu'en pratique civile. L'existence d'un déficit neurologique complet ou incomplet signe l'instabilité des lésions. La chirurgie est alors la règle. Elle peut être différée si le déficit est complet car l'objectif est alors uniquement de faciliter le nursing et le transport. En l'absence de déficit neurologique, les fractures instables doivent être opérées pour éviter toute aggravation au cours du transport souvent long. En cas d'afflux massif de blessés, le traitement chirurgical peut être différé jusqu'à 7 jours.

La prise en charge des traumatismes rachidiens pénétrants demeure controversée. Le facteur pronostique le plus important est l'état neurologique initial, d'où l'intérêt d'un examen neurologique le plus précis possible à l'arrivée du patient, si son état le permet. En règle générale, les traumatismes rachidiens ouverts sont stables. On admet fréquemment qu'il n'y a pas d'indication de décompression en cas de déficit complet sauf s'il existe un écoulement de liquide cérébro-spinal. Lorsque le déficit est incomplet, la décompression peut être discutée. Le but du traitement chirurgical, pour ces traumatismes ouverts, est de réaliser un parage et d'assurer l'étanchéité de la dure-mère. L'ablation de corps étrangers ou de fragments osseux n'est pas systématique. La toxicité du cuivre et du plomb contenus dans certains projectiles a été évoquée mais ses conséquences sont rarissimes. Si le rachis doit être stabilisé, l'arthrodèse doit être réalisée à distance du foyer d'attrition, un ou deux niveaux au-dessus et au-dessous. L'antibiothérapie est de règle pendant 7 à 14 jours. Elle doit être à large spectre pour couvrir les bactéries Gram positif, Gram négatif et les bactéries anaérobies. En effet, les plaies balistiques en chirurgie de guerre sont liées à des projectiles à haute vélocité, responsables de beaucoup plus de lésions associées que les projectiles rencontrés en pratique civile. Les contaminations bactériennes sont donc beaucoup plus graves.

5.6. Complications [1, 9, 15]

Une étude américaine récente a rapporté un taux de complications associées aux traumatismes rachidiens de 16 %. La mortalité péri opératoire est de 1,08 %. Les patients opérés ont un risque de complications plus élevé que les patients non opérés (25 % contre 3 %). Plus d'un tiers des patients opérés avec traumatisme vertébral pénétrant ont présenté des complications. Les complications majeures péri-opératoires comprennent : déficit neurologique sévère (5,4 %), pneumopathie (6 %), embolie pulmonaire (0,5 %), infection profonde du foyer opératoire (7 %), malposition ou complications liées au matériel (4,3 %), blessure vasculaire (0,5 %). Les complications mineures péri-opératoires comprennent : infection superficielle et retard de cicatrisation (3,8 %), fuite de liquide cérébro-spinal (2 %), thrombose veineuse profonde (TVP : 4,3 %), déficit neurologique mineur (2 %). À l'opposé, parmi les complications chez

les patients non opérés, il est à retenir les taux faibles d'embolie pulmonaire, d'infection profonde, de pneumopathie (0,5 %), et de thrombose veineuse profonde (1 %).

D'autres complications post opératoires sont également mentionnées, incluant déstabilisation, hématome, méningite.

Toutefois, cette différence entre les deux groupes, opérés et non opérés, n'est pas réellement surprenante du fait de la gravité des lésions amenant l'indication chirurgicale et ne doit en aucun cas constituer un frein à une chirurgie dont la balance bénéfice/risque a été préalablement discutée.

Les troubles psychologiques sont fréquents : troubles dépressifs, anxieux, addiction médicamenteuse. Ils sont majorés par l'éloignement des proches. La dépression est de loin la complication psychologique la plus fréquente.

Elle touche 20 à 40 % des patients. La fréquence des comportements suicidaires semble être 2 à 6 fois plus élevée que dans la population des patients dépressifs. Ce comportement suicidaire est plus important chez les patients paraplégiques et chez les patients qui ont des séquelles neurologiques mineures.

6. Conclusion

Le taux de traumatismes rachidiens en situation de guerre au cours des conflits récents n'est pas négligeable, de l'ordre de 5 %. La chirurgie garde donc toute sa place dans le traitement de traumatismes rachidiens. Le blessé est en droit d'attendre, sur un théâtre d'opérations, le même niveau de soins que dans un hôpital d'infrastructure en France, même si les conditions d'exercice sont dégradées. Les indications chirurgicales en cas de traumatisme fermé sont les mêmes qu'en pratique civile, en tenant compte des contraintes liées à la guerre. En cas de traumatisme pénétrant, la chirurgie est indiquée en cas de déficit neurologique incomplet ou progressif, de fuite de liquide cérébro-spinal, et dans tous les cas après stabilisation des fonctions vitales du patient. Le pronostic de ces traumatismes est fonctionnel et étroitement lié aux lésions associées ainsi qu'à l'état neurologique initial.

Si les progrès de la chirurgie de l'avant et des évacuations sanitaires aériennes permettent d'améliorer ce pronostic fonctionnel, on attend beaucoup, pour le traitement des séquelles, des nouvelles méthodes de réparation de la fonction médullaire car, comme le disait Pascal, « notre nature est dans le mouvement ». Les recherches actuelles portent sur la récupération neurologique et les thérapeutiques neuro-protectrices mais aussi sur de nouvelles technologies pour améliorer le quotidien des patients médullo-lésés (robotique, appartements thérapeutiques, commandes cérébrales …).

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de cette leçon des 24 heures (par ordre alphabétique) : Laurent Allanic, Julien Bordes, Jean-Marc Delmas, Renaud Dulou, Anthony Faivre, Christophe Joubert, Marion Lahutte.

Bibliographie

[1] Klimo P, Ragel BT, Rosner M, Gluf W, McCafferty R. Can surgery improve neurological function in penetrating spinal injury? A review of the military and civilian literature and treatment recommendations for military neurosurgeons Neurosurg focus 2010;28:E4.

[2] Pernot Ph, Blondet E, Dulou R. Plaies vertébro-médullaires – prise en charge en pratique de guerre. Med Armées 2000;28:695-705.

[3] Schoenfeld AJ, Belmont PJ, Weiner BK. A history of military spine surgery. Spine J 2012; 12: 729-36.

[4] Belmont PJ, Mc Criskin BJ, Sieg RN, Burks R, Schoenfeld AJ. Combat wounds in Iraq and Afghanistan from 2005 to 2009. J Trauma Acute Care Surg 2012;73: 3-12.

[5] Kang DG, Lehman RA, Carragee EJ. Wartime spine injuries: understanding the improvised explosive device and biophysics of blast trauma. Spine J 2012;12: 849-57.

[6] Comstock S, Pannell D, Talbot M, Compton L, Withers N, Tien HC. Spinal injuries after improvised explosive device incidents: implications for Tactical Combat Casualty Care. J Trauma 2011;71(5 suppl 1):S413-7.

[7] Blair JA, Patzkowski JC, Schoenfeld AJ, Cross Rivera JD, Grenier ES, Lehman RA,et al. Skeletal Trauma Research Consortium (STReC). Spinal column injuries among Americans in the global war on terrorism. J Bone Joint Surg Am 2012;94: e135(1-9).

[8] Schoenfeld AJ, Newcomb RL, Pallis MP, Cleveland AW 3rd, Serrano JA, Bader JO, et al. Characterization of spinal injuries sustained by American service members killed in Iraq and Afghanistan: a study of 2089 instances of spine trauma. J Trauma Acute Care Surg 2013;74:1112-8.

[9] Blair JA, Possley DR, Petfield JL, Schoenfeld AJ, Lehman RA, Hsu JR. Skeletal Trauma Research Consortium (STReC), Military penetrating spine injuries compared with blunt. Spinal J 2012;12:762-8.

[10] Einsenburg MF, Christie M, Mathew P. Battlefield neurosurgical care in the current conflict in southern Afghanistan. Neurosurg focus 2010;28:E7.

[11] Mourer BT, Klimo P, Kowalski RJ, McCafferty RR, Liu JM, Taggard DA, et al. Neurosurgery in Afghanistan during «Operating Enduring Freedom»: a 24-month experience. Neurosurg focus 2010;28:E8.

[12] Dulou R, Dagain A, Delmas JM, Lambert E, Blondet E, Goasguen O, et al. The

French mobile neurosurgery unit. Neurosurg focus 2010;28:E13.

[13] Kossmann T, Trease L, Freedman I, Malham G. Damage control surgery for spine trauma. Inj Int J Care Injured 2004;35:661-70.

[14] Lenehan B, Dvorak MF, Madrazo I, Yukawa Y, Fisher C. Diversity and commonalities in the care of spine trauma internationally. Spine 2010;35:S174-9.

[15] Kirshblum SC, Priebe MM, Ho CH, Scelza WM, Chiodo AE, Wuermser LA, Spinal cord injury medicine. 3. Rehabilitation phase after acute spinal cord injury. Arch Phys Med Rehabil 2007; 88(3 Suppl 1):S62-70.

Chaire de chirurgie spéciale appliquée aux armées

Ophtalmologie

Les plaies oculo-orbitaires en situation de conflit

Jean-Marie Giraud

1. Introduction

Urgences fonctionnelles par excellence, les plaies oculo-orbitaires de guerre ont vu leur prise en charge au plus près des combats s'organiser au cours de la dernière décennie, en réponse à l'accroissement sensible de leur incidence et à la volonté de préserver au mieux le pronostic visuel par la conjonction de soins spécialisés sur le théâtre avec une évacuation rapide vers les hôpitaux de métropole.

2. Épidémiologie

Bien que les deux yeux représentent moins d'1 % de la surface corporelle, la part des traumatismes oculaires dans les blessures de guerre est en augmentation croissante. Comptant pour seulement 2 % de l'ensemble des blessures au cours de la Seconde Guerre mondiale, leur fréquence passe respectivement à 9 % et 7 % au cours de la guerre du ViêtNam et des conflits israélo-arabes, pour atteindre 18,9 % sur les récents théâtres d'Irak et d'Afghanistan [1-3]. Cette augmentation majeure s'explique par le passage d'un modèle de conflit classique avec prédominance de plaies par balles à des conflits asymétriques de type guérilla reposant majoritairement sur des embuscades avec usage de bombes artisanales (ou IED - *Improvised Explosive Devices*) responsables de polycriblages et de blast (4). Elle provient également des progrès réalisés dans la protection des régions vitales (gilets pare-éclats, casque) qui diminue l'incidence à ces niveaux. En moyenne, on recense 30 % d'atteintes oculaires chez les blessés polytraumatisés qui sont souvent polycriblés, et 30 % de lésions associées chez les traumatisés oculaires.

Cette considérable augmentation d'incidence justifie la projection de chirurgiens ophtalmologistes sur les théâtres d'opération. Ce fut le cas en Afghanistan où les ophtalmologistes du Service de santé des armées (SSA) ont assuré une présence permanente pendant huit années (2006-2013). Sur la période 2007-2012, 230 interventions chirurgicales pour traumatismes oculaires ont ainsi été réalisées, tandis que la traumatologie représentait 10 % des motifs de consultation ophtalmologiques [5, 6] (tableau 1).

Plaie cornéenne	54	23,5 %
Plaie sclérale ou cornée-sclérale sans CEIO	44	19,1 %
Plaie avec CEIO	23	10 %
Criblage oculo palpébral	42	18,3 %
Plaie palpébrale	15	6,5 %
Séquelle de trauma du SA	37	16,1 %
Enucléation ou éviscération	15	6,5 %

Tableau 1.
Distribution des 230 traumatismes et séquelles de traumatismes oculaires opérés entre 2007 et 2012 à Kaboul (Afghanistan) par les ophtalmologistes du SSA.

3. Mécanismes lésionnels

Enchâssé dans l'orbite, l'œil présente principalement une faible protection antéro-latérale. Il existe des zones de faiblesse externes, plus fragiles en cas de plaie et moins résistantes à la rupture en cas de contusion : la cornée et le limbe cornéo-scléral, les insertions des muscles droits et la tête du nerf optique. Parallèlement, des zones de fragilité interne sont particulièrement touchées dans les syndromes contusifs : l'iris et le corps ciliaire, richement vascularisés, source d'hyphémas et d'hémorragies intra-vitréennes ; la zonule, système suspenseur du cristallin, dont la rupture entraîne des luxations cristalliniennes ; le cristallin lui-même, siège de cataracte traumatique ; l'interface vitréo-rétinienne, à l'origine de déchirures et de décollements de la rétine. Il faut aussi souligner la fragilité des parois osseuses orbitaires inférieure et médiale.

Les lésions balistiques occasionnées par la majorité des munitions de guerre se caractérisent par des phénomènes de cavitation lors de la traversée des tissus qui élargissent le périmètre des lésions. Les explosions sont à l'origine de quatre mécanismes lésionnels. Les lésions primaires liées à l'onde de pression ou blast entraînent d'abord un raccourcissement antéropostérieur et une expansion équatoriale considérable du globe oculaire, source de ruptures au niveau des zones fragiles. L'onde en retour entraîne une projection vers l'avant du vitré et du cristallin ; enfin des oscillations peuvent majorer les lésions. Les modèles finis de blast montrent une augmentation de pression maximale au niveau oculaire, par probable résonance des ondes de pression au fond de la coupole orbitaire, responsable de traumatismes oculo-orbitaires complexes [7].

Les lésions secondaires sont celles causées par les éclats projetés (criblage), éclats actifs qui provoquent les plaies et projections passives, généralement telluriques, qui les souillent. Les lésions tertiaires sont celles provoquées par la projection du corps par l'explosion. Les lésions quaternaires sont liées aux brûlures et aux écrasements.

4. Formes cliniques

Les traumatismes oculaires sont répertoriés selon la classification *Birmingham Eye Trauma Terminology* (BETT) qui vise à donner un standard international commun [8]. Elle est notamment utilisée au sein de l'OTAN (tableau 2). Les traumatismes à globe fermé regroupent les traumatismes contusifs ainsi que les brûlures et les plaies lamellaires ou lacérations. Les traumatismes à globe ouvert distinguent les ruptures et les plaies. Les plaies borgnes ont un orifice d'entrée tandis que dans les plaies perforantes, il existe un orifice d'entrée et un orifice de sortie.

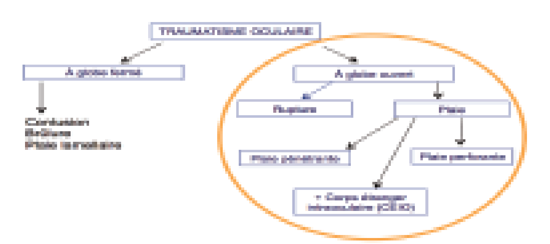


Tableau 2.
Classification internationale des traumatismes oculaires *Birmingham Eye Trauma Terminology* (BETT).

4.1. Plaies du globe oculaire

Les plaies les plus antérieures se limitent à la cornée ou souvent sont cornéo-sclérales. On distingue nettement les plaies intéressant la sclère jusqu'à 7 mm du limbe et celles qui s'étendent en arrière au-delà de 7 mm, en rétine décollable, et sont susceptibles de s'associer à des lésions rétiniennes. Les plaies conjonctivales, souvent associées à une importante hémorragie sous conjonctivale peuvent masquer une plaie sclérale, elles seront examinées avec grand soin (et si besoin explorées au bloc opératoire). Les plaies cornéo-sclérales antérieures peuvent présenter des incarcérations de l'iris ou du corps ciliaire (figure 1). Les plaies sclérales postérieures peuvent être compliquées de hernies choroïdiennes, rétiniennes ou vitréennes.

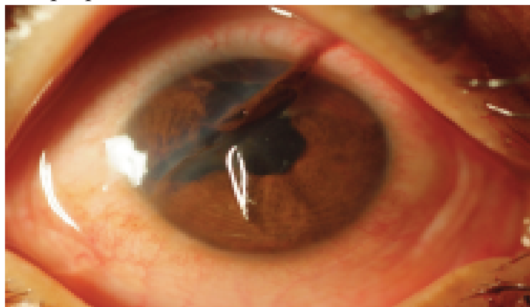


Figure 1.
Plaie cornéo-sclérale avec hernie de l'iris par l'ouverture.
© Giraud J.-M.

Selon leur énergie cinétique, les corps étrangers sont arrêtés par la cornée ou la sclère, réalisant un tableau d'œil polycriblé (figure 2), ou pénètrent les milieux intra-oculaires à des profondeurs variables. Les lésions des différentes structures oculaires, de l'avant vers l'arrière, occasionnées par le passage d'un corps étranger constituent les signes de balisage.

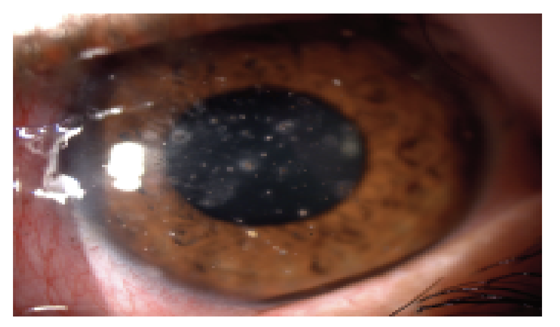


Figure 2.
Polycriblage cornéen après explosion d'une mine enterrée.
© Giraud J.-M.

4.2. Plaies palpébrales

Les paupières peuvent présenter des plaies franches, linéaires, ou des délabrements complexes avec tissus déchiquetés. Elles sont parfois souillées, tatouées et peuvent renfermer ou avoir été traversées par des corps étrangers. Il est important de préciser leur étendue, leur profondeur, variable d'une lacération superficielle à une plaie

transfixiante, leur siège, avec ou non atteinte du bord libre. En cas d'atteinte du canthus interne, en dedans des points lacrymaux, une atteinte des voies lacrymales, éventuellement associée à une lésion de l'artère angulaire sera redoutée. Enfin, l'importance de la perte de substance doit être soigneusement évaluée. En effet, les pertes de substance inférieures au quart de la longueur de la paupière peuvent sans mal être remises en continuité.

4.3. Traumatismes orbitaires

L'orbite est une cavité osseuse pyramidale quadrangulaire, de base antérieure, d'axe oblique en bas en avant et en dehors, entourée sur le plan frontal de cavités sinusiennes aériques. Le plancher de l'orbite ou paroi inférieure, de forme triangulaire à base antérieure, présent uniquement dans les deux tiers antérieurs de l'orbite est une lame osseuse extrêmement fine, de 0,5 mm d'épaisseur au centre à 1 mm à ses bords, expliquant qu'elle est facilement sujette aux fractures dans les traumatismes oculo-orbitaires. Elle peut se compliquer d'incarcération du muscle droit inférieur, de son pédicule ou de traumatisme du nerf sous-orbitaire. Les autres parois de l'orbite peuvent également être fracturées.

À l'intérieur de l'orbite, des lésions vasculaires peuvent provoquer un hématome orbitaire nécessitant un drainage en urgence ou une canthototomie externe en cas de compression du nerf optique. Des fistules carotido-caverneuses post-traumatiques peuvent se développer.

Outre une possible incarcération dans un foyer de fracture, les muscles oculomoteurs peuvent présenter une section, un arrachement, un hématome ou un œdème post-traumatique.

Complication dramatique, l'avulsion du nerf optique consiste en son arrachement ou sa section en arrière du globe oculaire, le long de son trajet intra orbitaire. Elle se traduit par une perte totale et irréversible de la vision de l'œil concerné.

5. Prise en charge

La doctrine du Service de santé des armées (SSA) codifie les principes de la prise en charge des blessés en situation de conflit. La spécificité du soutien médical français en OPEX est d'être au plus proche des combattants et repose sur trois principes :

- la médicalisation de l'avant avec extraction des blessés, mise en sécurité sans s'exposer et mise en condition d'évacuation ;

- la chirurgicalisation-réanimation de l'avant (traitement des hémorragies, des plaies, stabilisation des fractures et prévention des infections) dans une formation hospitalière de théâtre ;

- la systématisation des évacuations médicales précoces pour libérer la capacité hospitalière de l'avant et ramener les blessés dans les hôpitaux d'instruction des armées

où leur traitement sera complété, jusqu'à la rééducation.

Il repose sur une organisation en chaîne santé opérationnelle qui permet aujourd'hui au Service de santé des armées de médicaliser très rapidement un blessé et de l'évacuer vers la France en 24 à 48 heures en moyenne. Les maillons de cette chaine dont la technicité va croissant sont désignés par le terme de *Role* (de *1* à *4*).

5.1. Le Role 1 *a pour but la relève et le conditionnement du blessé.*

À ce niveau, les gestes concernant la région oculaire doivent être minimalistes et très prudents afin de ne pas aggraver les lésions par une pression malheureuse sur un globe ouvert. Ils se limitent le plus souvent à la pose d'un pansement protecteur oculaire non compressif surmonté d'une coque de protection rigide. Une antibiothérapie intra-veineuse à large spectre est si possible débutée devant toute suspicion de plaie oculo-orbitaire. L'évacuation se fait selon les théâtres vers un groupement ou un hôpital médico-chirurgical de type *Role 2* (sans ophtalmologiste) ou *Role 2+* ou *Role 3* (avec chirurgien ophtalmologiste). En cas de doute sur une pneumorbite ou sur la présence d'air dans le globe oculaire, un vol tactique est demandé au pilote pour éviter l'expansion du volume aérique.

5.2. Roles 2 *et* 3 *(formation hospitalière de théâtre)*

Le délai d'acheminement est si possible inférieur à une heure. En cas de risque NRBC, le sas de décontamination constitue la phase initiale de cette étape. À ce niveau, le triage catégorise les traumatismes oculaires en Urgences Fonctionnelles, qui n'entraînent pas de menace vitale mais nécessitent une prise en charge la plus prompte possible pour préserver au maximum la fonction visuelle. Idéalement, une plaie oculaire doit être explorée et fermée dans un délai de six heures. Une attente de 24 heures est acceptable mais sous la menace d'un développement très rapide d'une infection intra-oculaire. Dans un *Role 2* (sans ophtalmologiste), les chirurgiens peuvent prévenir ce risque en réalisant une injection intra-vitréenne d'antibiotique avant évacuation.

Dans le *Role 2+* ou *3*, si le blessé est uniquement touché au niveau oculaire et/ou orbitaire, l'équipement ophtalmologique sur place permet un examen complet. L'évaluation comportera une mesure de l'acuité visuelle et un examen à la lampe à fente, plan par plan, de toutes les structures oculaires depuis la surface jusqu'au fond de l'œil, à la recherche de plaie, corps étranger, lésions contusives des structures intra-oculaires. Certaines situations sont trompeuses telles des plaies des paupières supérieures, ou des hématomes sous-conjonctivaux qui peuvent dissimuler une plaie du globe et doivent être explorés chirurgicalement. Les signes de balisage, lésions effectuées par le passage d'un corps étranger au travers des structures de l'œil permettent de suspecter la présence d'un corps étranger intra-oculaire.

Dans le cas des polytraumatisés ou des patients graves, l'examen ophtalmologique initial est souvent plus sommaire, réalisé au cours de la prise en charge multidisciplinaire du blessé de guerre. On essaie de préciser la capacité visuelle du patient ainsi qu'un examen de l'œil avec un éclairage portatif. L'ordre de la prise en charge ultérieure est ensuite organisé avec le médecin anesthésiste réanimateur. Un examen ophtalmologique complet sera réalisé dès que possible.

Le bilan lésionnel initial des blessés au niveau d'un *Role 3* passe aujourd'hui par la réalisation dès l'arrivée d'une tomodensitométrie corps entier. Cette imagerie est très contributive pour détecter des corps étrangers intra-oculaires (CEIO) et des lésions des parois de l'orbite.

À l'issue, le patient est le plus souvent transféré au bloc opératoire pour prise en charge des différents traumatismes. Un bilan ophtalmologique est à nouveau réalisé par une exploration complète sous anesthésie générale. L'ophtalmologiste réalise un nettoyage des lésions, l'ablation des CEIO accessibles notamment ceux du segment antérieur. Toutes les plaies doivent être suturées et la prévention des infections est effectuée par la réalisation d'une injection intra-vitréenne d'antibiotiques (ceftazidime et vancomycine), en plus de l'antibiothérapie par voie intra-veineuse.

Dans le cas exceptionnel d'un patient présentant un hématome orbitaire, une décompression est effectuée par canthotomie externe.

5.3. Role 4 *(hôpitaux d'instruction des armées)*

Dès que l'évacuation est lancée, et si nécessaire en cours de vol, un contact est pris avec les ophtalmologistes du *Role 4* pour transmettre les données du blessé. À l'arrivée du patient, le bilan clinique et d'imagerie est refait en utilisant toutes les techniques d'imagerie moderne disponibles. En cas de CEIO, l'IRM est formellement contre-indiquée. Puis est effectuée la prise en charge chirurgicale des lésions oculo-orbitaires, initiale ou en continuation des gestes spécifiques effectués au *Role 3*. Face à la multiplicité des lésions, les prises en charge diffèrent et sont adaptées à chaque cas. Il y a souvent chez les blessés de guerre une prise en charge pluridisciplinaire « face et cou ».

6. Complications

6.1. Endophtalmie

L'endophtalmie, de pronostic toujours sévère, complique 7% des plaies oculaires. Cette incidence est doublée dans les plaies avec corps étranger intra-oculaire (9-12). Elle survient en moyenne entre le 2e et le 6e jour mais est possible dès le premier et jusqu'au 12e jour. Les plaies oculaires de guerre réunissent souvent plusieurs facteurs de risque d'endophtalmie (Tableau 3).

Si la température élevée des fragments balistiques semble stériliser les corps

étrangers, dans la majorité des autres cas de plaie oculaire, l'atteinte est souvent polymicrobienne et certains germes fréquemment retrouvés, tels les Bacillus, sont particulièrement virulents. Cette virulence et les dégâts tissulaires associés, confèrent à ces endophtalmies un pronostic plus sombre qu'après chirurgie réglée. Il est donc impératif de prévenir cette infection par une antibioprophylaxie par voie générale et par injection intra-vitréenne précoce.

Tableau 3.
Facteurs de risque d'endophtalmie

- Présence d'un corps étranger intra-oculaire (nature) - Plaie de taille supérieure ou égale à 5mm - Fermeture de la plaie retardée de plus de 24 heures - Ouverture ou brèche traumatique du cristallin - Plaie de localisation postérieure - Acuité visuelle très faible (entre « perceptions lumineuses » et < 1/4e) - Antibioprophylaxie retardée de plus de 24 heures - Origine géographique rurale - Corps étranger intra-oculaire (végétaux et/ou souillure tellurique) - Hémorragie intra-oculaire créant un milieu de culture propice à la prolifération microbienne

6.2. Complications infectieuses orbitaires

Les infections orbitaires post-traumatiques peuvent être responsables de cécité, voire mettre en jeu la vie du patient. On distingue d'une part les infections pré-septales (ou cellulites pré-septales) d'évolution en principe bénigne. Ce sont des infections localisées aux paupières, siégeant en avant du septum orbitaire. Chez ces patients, l'acuité visuelle est conservée, l'oculomotricité non altérée tandis que l'examen oculaire est normal. D'autre part, les infections rétro-septales correspondent aux cellulites orbitaires proprement dites, de pronostic spontané péjoratif, constituant une urgence diagnostique et thérapeutique. Chez ces patients dont l'infection se développe en arrière du septum, on observe, dans un contexte fébrile aigu, une exophtalmie avec chémosis inflammatoire. L'acuité visuelle est effondrée, le réflexe pupillaire altéré, la motilité oculaire anormale.

Le pronostic vital est mis en jeu par les menaces de méningite, d'abcès cérébral ou de thrombophlébite du sinus caverneux.

6.3. Complications oculaires non infectieuses

Les taies cornéennes sont fréquentes, en particulier lors des criblages cornéens ou la cornée peut présenter de multiples opacités. Seules les opacités centrales, dans l'axe optique, ont un réel impact sur la vision.

L'hypertonie : des hypertonies transitoires peuvent survenir dans les suites immédiates des contusions oculaires, et, très à distance, peut s'installer un glaucome traumatique. L'hypertonie oculaire survient dans 35 à 41 % des cas à la phase aiguë

d'une contusion. L'origine en est multifactorielle et complexe, pouvant associer à une obstruction trabéculaire par des cellules inflammatoires ou des érythrocytes, un possible blocage pupillaire ou trabéculaire en cas de luxation cristallinienne ainsi qu'une augmentation transitoire de la sécrétion d'humeur aqueuse secondaire à l'inflammation. La survenue du glaucome traumatique est souvent tardive : il existe classiquement deux pics d'incidence à trois ans et dix ans post-traumatisme.

Cataracte traumatique : lorsque le traumatisme occasionne une effraction capsulaire, l'opacification sera très rapide. Elle peut s'accompagner d'une inflammation majeure par uvéite phaco-antigènique. La prise en charge chirurgicale devra être rapide pour diminuer l'inflammation et assurer la visibilité du pôle postérieur. La correction de l'aphakie par implant, conditionnée par l'état capsulo-zonulaire sera souvent différée. En l'absence de brèche capsulaire, une cataracte post-contusive peut se développer plusieurs années après le traumatisme.

Le décollement de rétine constitue le risque majeur des plaies sclérales situées au niveau, ou s'étendant à plus de 7 mm en arrière du limbe. Les décollements reghmatogènes surviennent dans les suites immédiates d'une plaie ou par dialyse à l'ora serrata. Plus tardifs, dans un délai moyen de six semaines, les décollements tractionnels compliquent une hémorragie intra-vitréenne ou une incarcération de vitré dans une plaie. Le pronostic des décollements rétiniens, en particulier dans un contexte traumatique est toujours réservé. En l'absence de traitement, l'évolution risque d'amener au glaucome à néovaisseaux puis la phtyse du globe oculaire.

La phtyse constitue la complication terminale d'un œil traumatisé et souvent multi-opéré. Elle se caractérise par une hypotonie sévère avec perte de la forme du globe, diminution de taille. En cas de douleur ou de risque d'ophtalmie sympathique, une énucléation sera réalisée.

L'ophtalmie sympathique est une complication exceptionnelle (moins de 1 %), qui survient au moins deux semaines après, et souvent dans les douze mois après un traumatisme grave, généralement à globe ouvert, restant très inflammatoire ou évoluant vers la phtyse. Cet œil est appelé œil sympathisant. L'autre œil, non traumatisé, développe une pan-uvéite granulomateuse sévère dont l'évolution peut être très péjorative. Cette complication redoutable conduisait il y a quelques décennies à énucléer précocement les globes oculaires gravement traumatisés pour protéger l'œil intact. Les progrès de la réparation chirurgicale des traumatismes oculaires et de l'utilisation des anti-inflammatoires ont rendu l'énucléation très exceptionnelle. Au début, l'atteinte de l'œil sympathisé se manifeste par une photophobie, un blépharospasme, une gène à l'accommodation, avant de présenter des signes francs de pan-uvéite.

Les métalloses sont liées à la toxicité intra oculaire de certains corps étrangers métalliques y séjournant de façon prolongée.

Ainsi, une sidérose complique un corps étranger en fer dont l'oxydation entraîne la libération d'ions ferreux qui pénètrent et s'accumulent dans le cytoplasme des

cellules, responsables d'une mort cellulaire. Elle peut se manifester par un anneau de rouille para limbique, une hétérochromie irienne, une semi-mydriase peu réactive, des dépôts de rouille sur la cristalloïde antérieure, une dégénérescence pigmentaire ou une hypertonie oculaire.

Une chalcose survient en cas de libération de particules de cuivre. Le pronostic est moins grave que pour la sidérose. La chalcose aiguë se manifeste par une uvéite à hypopion stérile, tandis que la chalcose chronique se caractérise par un anneau de Kayser-Fleisher, une cataracte verdâtre et une hétérochromie irienne avec iris vert.

6.4. Complications palpébrales non infectieuses

Elles sont souvent secondaires à des plaies correctement traitées mais dont la complexité ou le facteur évolutif oblige à envisager secondairement des révisions cicatricielles, soit, plus rarement, consécutives à des plaies ou des pertes de substance négligées ou mal traitées. Il s'ensuit des troubles de la fonction, de la statique et de la dynamique palpébrale responsables de complications oculaires, notamment de kératite d'exposition. Si les plaies parallèles au bord libre n'entrainent qu'un dommage esthétique, les plaies perpendiculaires risquent de provoquer un entropion ou une encoche du bord libre. Les altérations affectant la paupière inférieure ne font courir aucun risque au globe oculaire. *A contrario*, au niveau de la paupière supérieure, tout phénomène de rétraction empêchant la protection du globe expose la cornée. Un larmoiement pourra s'expliquer autant par une sténose des voies lacrymales que par une mauvaise position de la rivière lacrymale (ectropion) ou par une fistule entre le canalicule et la peau.

6.5. Complications orbitaires non infectieuses

L'enophtalmie ou retrait d'un globe oculaire de dimensions normales, dans l'orbite, survient dans 10 à 20 % des cas, conséquence de différentes causes telles une distension de la cavité osseuse, une fonte graisseuse, une rétraction de la péri-orbite.

Les désordres oculomoteurs représentent la principale complication des fractures orbitaires. Ils sont d'autant plus invalidants qu'ils se manifestent dans le regard primaire et à la lecture. Ils font suite à une désincarcération insuffisante ou à un ré-enclavement, à une atteinte neurogène ou directe musculaire et parfois à une fibrose de la péri-orbite et du matériel d'interposition.

Les neuropathies résultent de l'atteinte traumatique du nerf optique. Il importe d'établir la chronologie de la baisse d'acuité visuelle. Si l'effondrement de la vision a été immédiat, le traitement par décompression du nerf optique sera inefficace ; si l'effondrement a été différé, la décompression peut améliorer la fonction visuelle.

La névralgie du nerf sous orbitaire est due à une compression du nerf dans son trajet dans le canal infra-orbitaire, ou à l'émergence du nerf au niveau du trou sous-orbitaire par esquilles osseuses, ostéotomie, ou encore compression par un implant. Cette névralgie est très douloureuse et souvent résistante aux traitements médicaux.

7. Prévention

La prévention collective repose sur la construction de bâtiments anti-roquettes, les déplacements en véhicules blindés, la formation des militaires au secourisme de combat et l'utilisation de drones, qui remplacent de plus en plus les combattants pour des missions de reconnaissance.

La prévention individuelle passe en premier lieu par la sélection des militaires les plus aptes à être projetés en opération extérieure, et surtout par les moyens de protection oculaires, casques et lunettes balistiques, essentiels pour la prévention des plaies du globe oculaire : selon une étude récente réalisée entre 2006 et 2009 chez des blessés américains en Irak, le port de lunettes balistiques a permis de réduire le risque et la gravité des lésions oculaires de 26 à 17 % [13].

Les lunettes balistiques de l'armée française permettent de protéger le combattant des éclats et des criblages ; elles répondent à des impératifs de légèreté, ce qui garantit une bonne observance de port, leur ergonomie les rend compatibles avec les outils de visée de l'armement, elles contiennent des filtres de protection solaire, des filtres plus adaptés à la conduite de nuit et le combattant peut y insérer des verres correcteurs adaptés à sa vue. Les masques balistiques sont plus adaptés à certains postes tels que ceux des veilleurs en tourelle. Ils assurent une protection anti-éclats, une protection contre la poussière, le sable, le vent et peuvent également être équipés d'inserts correcteurs.

Certains spécialistes tels que les démineurs, les pilotes, sont équipées de moyens de protection oculaire plus adaptés. L'armement s'est également modernisé avec l'introduction du nouveau fusil d'assaut FAMAS FELIN, diminuant l'exposition des combattants lors de certaines opérations, en permettant de retransmettre l'image d'une caméra de visée sur un écran déporté. Le visage du tireur n'est alors plus obligatoirement dans l'axe de son arme.

La prévention des plaies oculaires en situation de conflit repose également sur la prévention des risques professionnels liés au travail, qui se fait en relation avec le chargé de prévention des unités, tout particulièrement pour le personnel exposé aux activités de découpe, de meulage, de ponçage…

8. Conclusion

Les plaies oculo-orbitaires rencontrées en condition de conflit se caractérisent par leur variété et celle de leurs complications, à court terme, dominées par le risque infectieux, mais aussi à moyen et à long terme. La projection de chirurgiens ophtalmologistes au niveau de la zone de conflit, principalement expérimentée en Afghanistan, permet d'optimiser la prise en charge de ces urgences fonctionnelles avant l'évacuation vers les hôpitaux de métropole. Si le pronostic de nombreuses blessures reste très péjoratif, la généralisation des dispositifs de protection oculaire du combattant permet, sinon d'empêcher les traumatismes, du moins de réduire notablement la gravité des lésions engendrées.

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de cette leçon des 24 heures (par ordre alphabétique) : Hussam El Chehab, Agnès Joly, Jean-Remi Fénolland, Bernard Valéro, Marlène Francoz, Maxime Delbarre.

Références bibliographiques

[1] Wong TY, Seet MB, Ang CL. Eye injuries in twentieth century warfare: a historical perspective. Surv Ophthalmol 1997; 41:433-59.

[2] Thomas R, McManus J. Trends of ocular injuries in the conflicts in Iraq and Afghanistan. Association for Research in Vision annual meeting, May 2010.

[3] Weichel ED, Colyer MH, Ludlow SE, Bower KS, Eiseman AS. Combat ocular trauma visual outcomes during operations iraqi and enduring freedom. Ophthalmology 2008;115: 2235-45.

[4] Belmont PJ Jr1, McCriskin BJ, Sieg RN, Burks R, Schoenfeld AJ. Combat wounds in Iraq and Afghanistan from 2005 to 2009. J Trauma Acute Care Surg. 2012;73:3-12.

[5] Giraud JM, May F, Dot C, Fenolland JR, D. Sendon D, Renard JP. Ophtalmologie de guerre, ophtalmologie de paix, bilan de quatre ans de mission des ophtalmologistes militaires Français en Afghanistan. Méd armées 2011,39:327-32.

[6] Giraud JM, Fenolland JR, May F, Dot C, Mouinga A, Leveque P, et al. War ophthalmology, french military ophthalmologists supporting NATO forces in Afghanistan. Association for Research in Vision annual meeting, May 2011.

[7] Bhardwaj R, Ziegler K, Nguyen TD. Blast wave reflections on the human eye. Invest Ophthalmol Vis Sci 2012; 53: 4960.

[8] Kuhn F, Morris R, Witherspoon CD, Mester V. The Birmingham Eye Trauma Terminology system (BETT). J. Fr. Ophtalmol 2004;27:206-10.

[9] Brinton GS, Topping TM, Hyndiuk RA, Aaberg TM, Reeser FH, Abrams GW. Posttraumatic endophthalmitis. Arch Ophthalmol 1984;102: 547-50.

[10] Waheed NK, Young LH. Intraocular foreign body related endophthalmitis. Int Ophthalmol Clin 2007; 47: 165-71.

[11] Thompson WS, Rubsamen PE, Flynn HW Jr, Schiffman J, Cousins SW. Endophthalmitis after penetrating trauma. Risk factors and visual acuity outcomes. Ophthalmology 1995; 102:1696-701.

[12] Essex RW, Yi Q, Charles PG, Allen PJ .Post-traumatic endophthalmitis. Ophthalmology 2004; 111: 2015-22.

[13] Thomas R, McManus JG, Johnson A, Mayer P, Wade C, Holcomb JB. Ocular injury reduction from ocular protection use in current combat operations. J Trauma 2009; 66 (4 Suppl):S99-103

Chaire de médecine appliquée aux armées

Le diabète dans les armées

Lyse Sirvin ép. Bordier

1. Introduction

Le diabète représente un véritable problème de santé publique dans notre société occidentale et les forces armées ne sont pas épargnées. Le diabète de type 1 touche avec prédilection des sujets jeunes, il peut ainsi survenir de façon brutale et imprévisible chez de jeunes militaires sans facteur de risque prédisposant. Le diabète de type 2, fortement corrélé à l'épidémie d'obésité qui touche aussi les armées comme l'a bien montré l'étude Epimil, va survenir chez des personnels plus âgés. Le médecin militaire doit savoir en faire le diagnostic, le traiter avec efficacité et surveiller les patients afin de les protéger des complications micro et macro angiopathiques qui font toute la gravité de la maladie. Il a aussi auprès du commandement un rôle d'expertise dans la détermination de l'aptitude à servir. Ce rôle particulier fait toute la spécificité et la difficulté du métier de médecin militaire et de la médecine d'armée qui peut se définir comme l'apprentissage et la pratique du soin, de la prévention et de l'expertise médicale au sein des forces militaires françaises.

2. Définition [1]

Il faut bien distinguer le type 1 et le type 2 dont la présentation clinique et les circonstances du diagnostic sont très différentes.

Le diabète est une affection métabolique caractérisée par une hyperglycémie chronique liée à une anomalie de la sécrétion et/ou de l'efficacité de l'insuline.

Les critères diagnostiques ont été modifiés en 1997 par l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Le diabète est désormais dépisté sur la mesure de la glycémie veineuse à jeun. La glycémie est normale lorsqu'elle est ≤ 110 mg/dl. Lorsqu'elle est ≥ 126 mg/dl à deux reprises, le diagnostic de diabète peut être affirmé et entre les deux, le patient présente une hyperglycémie modérée à jeun (HMJ). Le seuil de 126 mg/dl a été choisi car c'est à partir de cette valeur que le risque de développer une rétinopathie est majoré.

Le diagnostic de diabète peut aussi être affirmé si la glycémie, mesurée à n'importe quel moment de la journée, est ≥ 200 mg/dl.

L'HyperGlycémie Provoquée par voie Orale avec 75 g de glucose (HGPO) n'est plus recommandée dans le diagnostic dans un souci d'économie de santé en dehors du cas particulier de la grossesse. Néanmoins, lorsque ce test est réalisé, la tolérance glucidique est normale lorsque la glycémie à deux heures est ≤ 140 mg/dl, le sujet est diabétique si la glycémie post charge est ≥ 200 mg/dl, et entre les deux le sujet présente une intolérance aux hydrates de carbone (ITG).

L’HMJ et l’ITG sont des états « pré-diabétiques » qui évolueront vers un authentique diabète de type 2 si le patient ne modifie pas son mode de vie et ses habitudes alimentaires.

L’OMS a également revu la classification des diabètes selon les caractéristiques physiopathologiques (schéma 1).

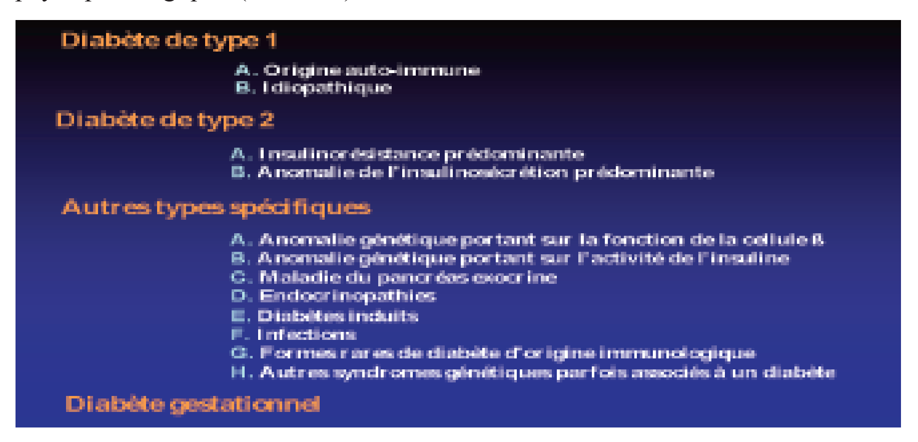


Schéma 1.

3. Physiopathologie [2]

Le diabète de type 1 est une maladie auto immune caractérisée par une carence absolue en insuline. Il est la conséquence de la destruction des cellules bêta des îlots de Langerhans par des lymphocytes T. Cette destruction survient sur un terrain génétique particulier, à la faveur d’un événement déclenchant souvent méconnu (schémas 2 et 3).

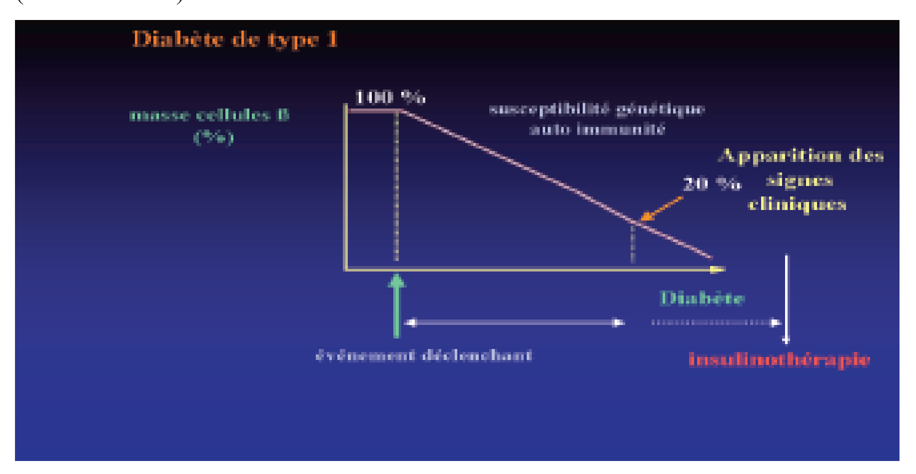


Schéma 2.

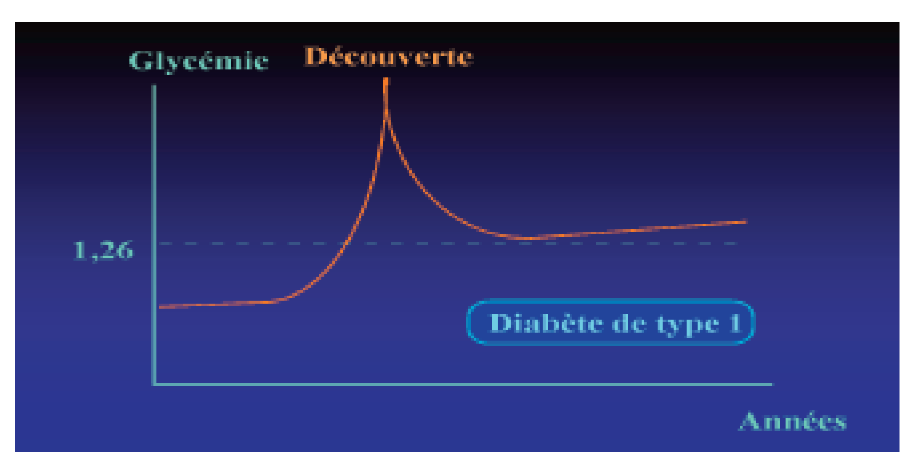


Schéma 3.

Cette destruction est silencieuse, insidieuse, de vitesse variable selon les individus. C'est lorsque 80 à 90 % des cellules bêta sont détruites que la glycémie s'élève brutalement et que les signes cliniques apparaissent.

Les anticorps n'ont pas de rôle pathogène propre mais sont le témoin de la réaction humorale et cellulaire de l'organisme. Ils permettent de définir le caractère auto-immun du diabète de type 1. Ces anticorps sont dirigés contre différents antigènes : la décarboxylase de l'acide glutamique (GAD), l'insulinoma antigen-2 (IA2), l'insuline et la pro insuline et le ZnT-8. Ainsi dans le diabète de type 1 auto-immun, les AC anti-GAD sont retrouvés dans 85 %, les AC anti-IA2 dans 50 %, anti-insuline dans 50 % et anti-ZnT8 dans 60 à 80 %, mais ces derniers ne sont pas recherchés en pratique courante. En revanche, ils sont absents dans le diabète de type 1 idiopathique dont la présentation est souvent différente, notamment chez les malades d'origine africaine.

Le diabète de type 2 (schéma 4) est également une maladie complexe survenant sur un terrain génétique prédisposé, agressé par un environnement délétère. Il associe ainsi des anomalies de l'insulinosécrétion (perte de la pulsatilité de la sécrétion d'insuline, disparition de la phase précoce de la sécrétion d'insuline, anomalies qualitatives et quantitatives de l'insuline, enfin diminution progressive de la sécrétion d'insuline) et une altération de l'insulinosensibilité. Il existe un lien très étroit entre la modification de notre mode de vie, la sédentarité, la suralimentation, l'obésité, le syndrome métabolique et le diabète de type 2.

L'étude Epimil (3) débutée en 2003, a évalué les paramètres cliniques et biologiques du syndrome métabolique et des facteurs de risque cardiovasculaire dans une population ciblée de 2 045 militaires de sexe masculin de la Garde républicaine. Dans cette cohorte, 9 % des personnels militaires présentaient un syndrome métabolique (contre 10 % de la population générale en France) selon les critères du NCEP ATP3. La même étude réalisée 10 ans auparavant avait noté une prévalence de 3 % du syndrome métabolique. Cette augmentation souligne bien que la population

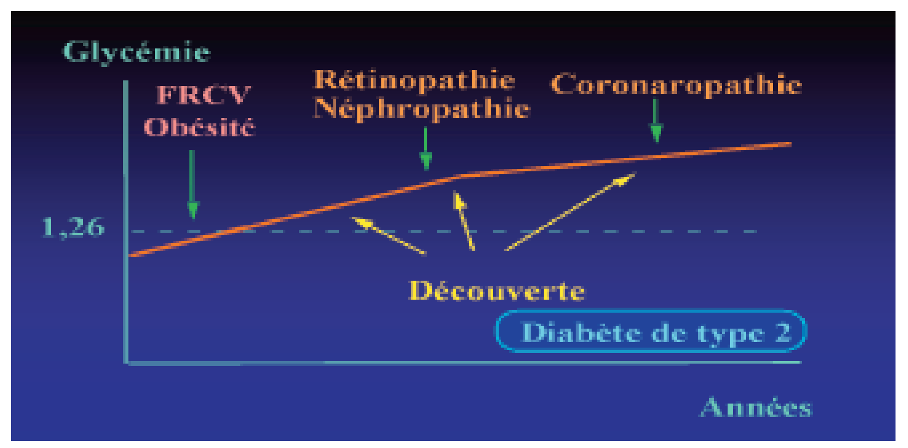


Schéma 4.

militaire, bien qu'elle soit sélectionnée et entraînée, n'échappe pas à l'épidémie d'obésité. Dans cette étude (schéma 5), on observe nettement que l'insulinorésistance s'élève avec le nombre de paramètres du syndrome métabolique et que parallèlement l'insulinosécrétion n'augmente pas, concourant inéluctablement à l'apparition du diabète de type 2.

Dans la population militaire, les facteurs de risque de développer un diabète sont les mêmes que dans la population générale, mais il existe aussi des facteurs spécifiques comme cela a été démontré dans la cohorte Millenium. Ainsi, le syndrome de stress post-traumatique à l'inclusion est associé de façon significative au risque de survenue d'un diabète (odds ratio 2.07 [95 % CI 1.31–3.29]) chez les 44 754 participants suivis pendant 3 ans après ajustement sur le sexe, l'âge, l'IMC, l'éducation, l'origine ethnique, le type d'emploi militaire et la santé mentale des sujets (4).

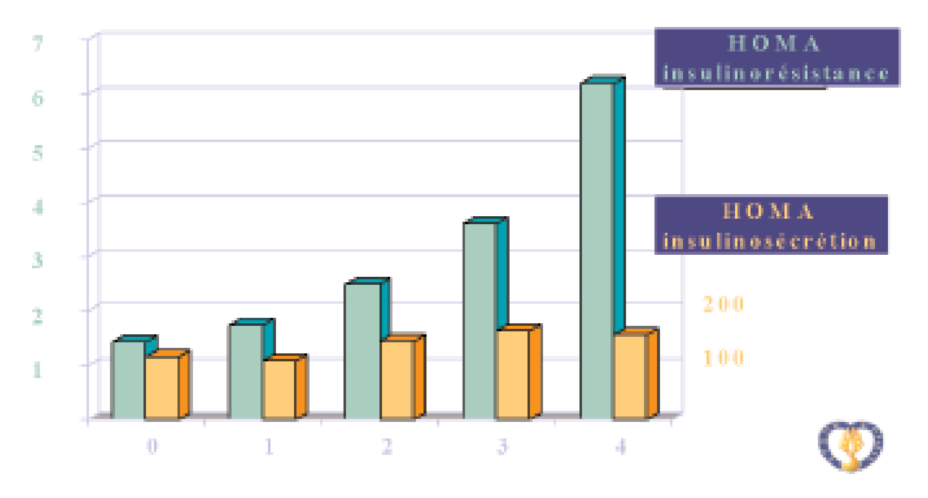


Schéma 5.

Le sommeil a un rôle aussi important. Les troubles du sommeil (durée du sommeil < 6 heures) augmentent significativement le risque de survenue d'un diabète de type 2 (odds ratio 1.21 [95 % CI 1.03–1.42]) de même que le syndrome d'apnées du sommeil (1.78 [1.39–2.28]). Ce sont des facteurs de risque de survenue d'un diabète indépendamment de la santé mentale et des autres facteurs de risque de diabète parmi les 47 093 participants suivis pendant 6 ans (5).

4. Épidémiologie

Selon l'OMS, 347 millions de personnes sont diabétiques dans le monde. Les prévisions sont à la hausse puisqu'elle estime qu'en 2030, le diabète sera la septième cause de décès dans le monde.

En France, selon le bulletin épidémiologique hebdomadaire de 2010 (6), la prévalence du diabète est de 4,4 %, ce qui représente 2,9 millions de patients. L'augmentation de la prévalence est liée à l'augmentation de l'obésité et au vieillissement de la population. Les prévisions sont aussi à la hausse puisqu'on estime qu'un français sur dix sera touché par la maladie dans 10 ans.

Le diabète a un coût humain mais aussi financier puisqu'on estime que le diabète fait partie, avec les tumeurs malignes et l'HTA, des trois affections qui regroupent le plus grand nombre de patients en affection de longue durée (ALD). La Caisse nationale d'assurance maladie des travailleurs salariés (CNAMTS) a ainsi remboursé en 2007 12,5 milliards d'euros pour le diabète et ce chiffre est en augmentation de 5,7 % depuis 2001. Le remboursement moyen annuel par patient est de 5 350 euros en 2007.

5. Circonstances de découverte

Le diabète de type 1 est habituellement découvert de façon brutale et bruyante devant un syndrome cardinal associant un syndrome polyuro-polydipsique, une polyphagie et un amaigrissement paradoxal. L'élévation glycémique est franche, supérieure à 200 mg/dl et ne pose pas de difficulté diagnostique. Il est impératif de rechercher une acétonémie à la bandelette capillaire, plus fiable et plus précoce que l'acétonurie et qui témoigne d'une carence insulinique profonde. Une hospitalisation en urgence est nécessaire afin de débuter une insulinothérapie car le risque de la survenue d'une acidocétose peut mettre en jeu rapidement le pronostic vital du patient. La survenue d'un diabète de type 1 lors d'une mission extérieure n'est pas une situation rare et pose des problèmes évidents de prise en charge en situation d'isolement. En effet, l'insulinothérapie doit s'associer à une réhydratation et à la correction des troubles hydro électrolytiques avec notamment un risque de survenue d'une hypokaliémie liée à la correction de l'acidose et à l'insulinothérapie. Le médecin militaire doit savoir évoquer ce diagnostic, le confirmer et débuter une prise en charge sans tarder. Les unités sont dotées d'insuline rapide, de lecteur de glycémie et de bandelettes urinaires

pour la détection de l'acétonurie mais malheureusement pas de lecteur de l'acétonémie. Après la prise en charge initiale, une évacuation sanitaire s'impose.

Pour le diabète de type 2, maladie silencieuse et longtemps méconnue, la découverte se fait souvent à l'occasion d'un examen systématique ou au contraire ciblé en raison de facteurs de risque. La Visite médicale périodique (VMP) est un moment privilégié pour effectuer ce dépistage. Les facteurs de risque sont représentés par l'âge supérieur à 45 ans, l'existence d'une surcharge pondérale, d'un syndrome métabolique, d'antécédents familiaux de diabète de type 2, la notion d'une hyperglycémie modérée à jeun, ou enfin chez les femmes un antécédent de diabète gestationnel ou de macrosomie fœtale (poids de naissance >4 kg) selon l'Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé (ANAES) 2003. Le diabète de type 2 peut malheureusement être découvert à l'occasion d'une complication de la maladie, notamment cardio-vasculaire (syndrome coronaire aigu) ou d'une plaie du pied par exemple. Le diabète de type 2 va survenir, à la différence du diabète de type 1, chez un patient ayant volontiers des facteurs de risque. Le médecin militaire doit être particulièrement vigilant pour le dépister et ne pas méconnaître ce diagnostic chez des personnels projetables.

Enfin, compte tenu du taux de féminisation des armées qui était de 15 % en 2009, il est important de souligner le problème du diabète au cours de la grossesse. Il regroupe en fait deux entités différentes : soit un diabète (le plus souvent de type 2) préexistant à la grossesse mais non connu et découvert à l'occasion de celle-ci ; soit une anomalie de la tolérance glucidique débutant ou diagnostiqué pour la première fois lors de la grossesse et disparaissant après l'accouchement, constituant le diabète gestationnel. Le diabète gestationnel expose la mère et l'enfant à de multiples complications materno-fœtales immédiates qui peuvent être évitées par une prise en charge optimale de la glycémie. Plus tardivement, il augmente le risque de survenue d'un diabète de type 2 chez la mère et de syndrome métabolique chez l'enfant. En France, le dépistage n'est pas systématique ; il est réalisé en présence d'au moins un des critères suivants : âge maternel ≥ 35 ans, Indice de Masse Corporelle (IMC) de la mère ≥ 25 kg/m^2, antécédents de diabète chez les apparentés au 1er degré, antécédents personnels de diabète gestationnel ou d'enfant macrosome. Le dépistage se fait par une glycémie à jeun lors de la première consultation prénatale pour dépister un diabète préexistant méconnu et, si celle-ci est normale, par une HGPO entre la 24e et la 28e semaine d'aménorrhée (7).

L'armée compte aujourd'hui beaucoup de femmes jeunes. Le médecin militaire est très souvent le médecin traitant et sera de ce fait amené à suivre comme tout médecin généraliste des grossesses. Le passage obligé de nos jeunes internes en stage de gynécologie illustre bien que cette discipline est désormais incontournable. Ainsi les médecins d'unité devront savoir comment, quand et chez quelles patientes dépister un diabète gestationnel mais aussi comment le traiter afin d'améliorer le pronostic de la future mère et de l'enfant.

6. Pronostic

Le diabète est une maladie grave car il peut exposer le patient à des complications aiguës mais aussi chroniques (micro et macro angiopathiques).

Parmi les complications aiguës du diabète de type 1, on compte l'acidocétose qui peut révéler le diabète ou compliquer un diabète connu mais aussi les hypoglycémies liées à l'utilisation de l'insulinothérapie.

Pour le diabète de type 2, les hypoglycémies sont également possibles sous sulfamides hypoglycémiants.

Le risque de survenue d'une hypoglycémie chez un militaire est particulièrement redoutable du fait de ses conséquences notamment neuro-glucopéniques associant des troubles de la concentration, des troubles de l'élocution, une incoordination motrice, une diplopie, des troubles de l'humeur ou une agressivité. Ce risque ne doit pas être encouru pour la sécurité du militaire et de son entourage. En effet, nos militaires sont le plus souvent armés, peuvent servir en situation d'isolement, doivent être capables de réagir avec sang-froid à des situations difficiles et tous les facteurs altérant leurs facultés, comme les hypoglycémies, les mettraient en danger. C'est la raison pour laquelle l'aptitude des diabétiques est limitée.

Les complications chroniques sont communes au diabète de type 1 et au diabète de type 2. Elles sont représentées par la microangiopathie : rétinopathie, néphropathie, neuropathie et par la macroangiopathie : maladie coronaire et athéromatose diffuse. Les grandes études d'intervention comme l'UKPDS dans le diabète de type 2 [8] et le DCCT [9] dans le diabète de type 1 ont bien démontré qu'il existe un lien entre l'équilibre glycémique, évalué par l'HbA1C, et la survenue de ces complications. Elles ont aussi démontré que lorsqu'on équilibre de façon optimale la glycémie, il est possible de prévenir l'ensemble de ces complications et qu'il existe une « mémoire glycémique » c'est à dire que le patient gardera toujours le bénéfice d'un équilibre glycémique optimal. Si le bénéfice est rapidement évident pour les complications microangiopathiques, directement liées à l'hyperglycémie chronique, il faut attendre plus longtemps pour observer un bénéfice macroangiopathique [10].

Mais pour réussir à diminuer la mortalité cardiovasculaire des patients diabétiques, il ne faut pas être « glucocentré » et au contraire s'intéresser à l'ensemble des facteurs de risque cardiovasculaire comme l'a démontré l'étude Steno 2 [11]. Dans cette étude qui a évalué la prise en charge intensive multifactorielle, le bénéfice était impressionnant avec une réduction de 53 % de la macroangiopathie en 8 ans, de 58 % de la rétinopathie diabétique et de 61 % de la néphropathie diabétique dans le groupe traité de façon intensive. Ainsi le médecin militaire doit prendre en charge ses patients de façon multifactorielle et globale afin d'améliorer le pronostic de la maladie.

7. Traitement – Éducation thérapeutique

Le diabète de type 1, caractérisé par une carence absolue en insuline doit être traité par une insulinothérapie. Depuis la découverte de l'insuline en 1921 par Banting et

Best, les progrès ont été nombreux. Les dernières insulines commercialisées sont des analogues de l'insuline humaine et ont des caractéristiques pharmacocinétiques leur permettant d'approcher la sécrétion physiologique d'insuline. Les analogues rapides agissent ainsi en quelques minutes et ont une durée d'action courte, limitant le risque d'hypoglycémie à distance des repas. Les analogues lents n'ont pas de pic d'action et miment la sécrétion basale physiologique d'insuline. L'administration se fait idéalement par un schéma basal bolus associant un analogue lent et des analogues rapides avant chacun des trois repas. D'autres insulines peuvent être utilisées notamment les semi-lentes, NPH, ayant une durée d'action de 12 heures, mais avec un pic qui expose le patient au risque d'hypoglycémie. Les rapides ordinaires de maniement peu aisé (il faut que le patient réalise l'injection 15 minutes avant son repas) sont actuellement peu utilisées. Il existe enfin des mélanges fixes associant la NPH et un analogue rapide : les « pré-mix ». Elles permettent de limiter le nombre d'injections mais sont moins maniables et adaptables que le schéma basal bolus.

L'insulinothérapie peut aussi être administrée de façon continue grâce à une pompe sous cutanée. C'est un analogue rapide qui est utilisé ici et le patient devra régler le débit de base et les bolus prandiaux.

L'insulinothérapie nécessite une éducation du patient afin d'assurer non seulement son autonomie mais aussi sa sécurité. Il doit ainsi savoir réaliser les auto-contrôles glycémiques, les interpréter, savoir injecter avec précision l'insuline et surtout calculer les doses selon les contrôles des glycémies capillaires, son activité physique et son alimentation. Ainsi même si des progrès techniques ont été réalisés, la gestion optimale de l'insulinothérapie nécessite une rigueur, une attention, du temps qui ne sont pas compatibles avec une activité opérationnelle telle qu'elle se conçoit en milieu militaire.

Pour le traitement du diabète de type 2, le traitement repose sur un trépied : un bon équilibre alimentaire, une activité physique adaptée et régulière et un traitement anti diabétique.

L'alimentation conseillée aux diabétiques est en fait celle que tout un chacun devrait suivre avec un équilibre qualitatif et quantitatif associant idéalement 45 % de sucres complexes, 10 % de sucres simples, 30 % de lipides et 15 % de protides. L'activité physique est une composante essentielle du traitement.

La Haute autorité de santé (HAS) a publié de nouvelles recommandations en 2013 [12] sur la prise en charge du diabète de type 2. Ces recommandations insistent sur l'individualisation des objectifs glycémiques selon le profil du patient. Les critères pris en compte dans ces recommandations sont la réduction de la morbi-mortalité, l'efficacité sur la diminution de l'HbA1C, la tolérance et la sécurité d'emploi des traitements et enfin leur coût. Le traitement doit être réévalué tous les 6 mois. La metformine est le médicament de première ligne. La bithérapie de choix reste selon la HAS l'association metformine et sulfamide. En cas d'échec, selon l'écart par rapport à la cible d'HbA1C, il est possible de discuter une trithérapie orale. Si l'écart est de moins de 1 %, il est possible d'associer un inhibiteur des alpha glucosidases ou un

inhibiteur de DPP4. Si l'écart est supérieur, il est possible d'envisager une insulinothérapie ou un analogue du GLP1 s'il existe un risque d'hypoglycémie ou si le patient est obèse.

Lorsqu'une insulinothérapie est débutée, il faut privilégier une insuline lente type NPH pour des raisons de coût et ne réserver les analogues lents qu'en cas de risque d'hypoglycémie. Les schémas associent d'abord une insulinothérapie en schéma « *bed time* » injectée le soir en association aux anti diabétiques oraux dans la journée, puis le schéma est complexifié pour arriver à un schéma basal bolus.

8. Prévention

La prévention est possible pour le diabète de type 2. Elle passe par une modification radicale du mode de vie associant une amélioration de l'hygiène alimentaire et une augmentation de l'activité physique : il faut « manger mieux et bouger plus ». Cette stratégie est efficace comme l'ont démontré plusieurs études épidémiologiques : dans l'étude chinoise Da Qing menée chez des intolérants au glucose (ITG) [13], l'intervention diététique et l'activité physique diminuaient le risque de survenue d'un diabète de type 2 respectivement de 31 et de 46 %.

Dans l'étude finlandaise DPS (Diabetes Prevention Study) [14] menée également chez des ITG, l'association diététique (perte de poids de 5 %) et activité physique (2h30 par semaine) diminuait le risque de survenue d'un diabète de type 2 de 53 %.

Enfin, dans l'étude américaine DPP (Diabetes Prevention Program) [15], menée chez 3 224 ITG, l'association diététique et activité physique réduisait de 58 % le risque de survenue d'un diabète de type 2 et faisait mieux que la metformine qui ne réduisait ce risque que de 31 %. Les interventions non pharmacologiques sont donc efficaces et peu coûteuses. Mais pour être efficaces elles doivent être pérennes ce qui est difficile à obtenir.

C'est là que le médecin militaire peut avoir un rôle fondamental comme l'a bien démontré l'étude Epimil [16]. Dans cette étude, les patients présentant un syndrome métabolique étaient pris en charge conjointement par une diététicienne et par leur médecin militaire.

À l'inclusion, les patients avaient un IMC moyen de 25,2 kg/m^2 et un tour de taille moyen de 88,7 cm. Cent soixante dix huit étaient en surpoids (38,4 %) et 36 obèses (7,8 %). Parmi les obèses, 6,5 % avaient une obésité simple et 1,3 % une obésité sévère. Aucun ne présentait une obésité morbide.

À cinq ans, l'IMC moyen était de 25,7 kg/m^2 et le tour de taille moyen de 91,8 cm. 205 étaient en surpoids (47,9 %) et 49 étaient obèses (11,4 %). Parmi les obèses, 9,3 % avaient une obésité modérée, 0,9 % une obésité sévère et 0,4 % une obésité morbide.

À 5 ans, le gain de poids moyen de la cohorte était ainsi de 1,6 kg. Mais ce qui est notable, c'est que ce sont les sujets ayant initialement un IMC normal qui ont pris le plus de poids (+2,4 kg) tandis que les sujets en surpoids ne prenaient que 1,2 kg et les

obèses perdaient 1,3 kg. Ainsi la prise en charge par le médecin d'unité et la diététicienne s'est avérée particulièrement efficace.

Le médecin d'unité à l'échelon individuel doit calculer l'IMC, surveiller le poids de ses patients lors de la VMP, dépister le syndrome métabolique par la très simple mesure du tour de taille, adapter la ration alimentaire selon l'activité physique. À l'échelon collectif, il doit visiter les mess et les ordinaires, protéger les personnels en poste à risque et assurer des séances d'éducation sanitaire collective.

9. Aptitude

Le diabète, du fait des contraintes de son traitement, des risques d'hypoglycémie, de risque de survenue de complications n'est pas compatible avec une activité opérationnelle telle qu'elle peut être envisagée en milieu militaire. Nos militaires sont en effet armés, servent en postes isolés ou dans des situations de stress et de conflit qui ne leur permettront pas de traiter efficacement leur maladie. La limitation des aptitudes des diabétiques a ainsi pour objectif de protéger le diabétique mais aussi la collectivité et la mission.

À l'admission, les normes en vigueur sont très strictes : le diabète de type 1 ou 2 entraine un classement G = cinq ou six, et de fait rend le patient inapte à l'engagement. Les états pré-diabétiques, intolérance au glucose ou hyperglycémie modérée à jeun sont classés G = deux à G = cinq.

En cours de carrière, les classements sont plus nuancés : le diabète de type 1 selon la qualité de l'équilibre et la présence de complications doit être classé G = quatre à six ; et le diabète de type 2 selon la qualité de l'équilibre, le risque hypoglycémique et la présence de complications doit être classé G = trois à six.

Le médecin d'unité propose un classement G au commandement qui décide *in fine* de l'aptitude du militaire. Une consultation spécialisée en milieu hospitalier est nécessaire en cas de doute. Chez les personnels de carrière, la poursuite de la carrière est possible avec une limitation de certaines activités et aptitudes (outre-mer, OPEX, service à la mer, troupes aéroportées, permis poids lourds, permis transport en commun, port d'arme…). Une aptitude par dérogation aux normes médicales est possible après passage devant le Conseil de Santé Régional et le militaire dispose de voies de recours en cas de contestation de la décision qui a été prise.

10. Conclusion

Les diabètes n'épargnent pas la communauté militaire. Le diabète de type 1 d'abord, parce qu'il survient préférentiellement chez des patients jeunes, sans facteur favorisant comme le sont nos jeunes militaires. Mais aussi le diabète de type 2, fortement lié à l'épidémie d'obésité qui touche également cette population pourtant sélectionnée et entraînée.

Le médecin militaire a un double rôle, une double fonction qui est propre à la médecine militaire et qui fait toute la difficulté de son exercice : il est à la fois médecin de prévention et de soin mais aussi médecin expert. Les restrictions d'aptitude du patient militaire sont justifiées par la gravité de cette maladie et de ses complications aiguës et chroniques et ont pour but de préserver la santé du patient et la capacité opérationnelle de nos troupes.

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de cette leçon des 24 heures (par ordre alphabétique) : Bernard Bauduceau, Emmanuel Bordier, Gilles Defuentes, Guillaume Dumas, Olivier Dupuy, François Eulry, Cyril Garcia, Jacques Margery, Hervé Mayaudon, Gwenaële Petit Aubert.

Références bibliographiques

[1] Report of the Expert Committee on the Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus. The expert committee on the diagnosis and classification of diabetes mellitus.Diabetes Care, 1997;20:1183-97.

[2] Physiopathologie des états diabétiques. Diabétologie. 2° édition. Louis Monnier. 2014:11-32.

[3] Bauduceau B, Baigts F, Bordier L, et al. Epidemiology of the metabolic syndrome in 2045 French military personnel (EPIMIL study). Diabetes Metab. 2005;31:353-9.

[4] Boyco EJ, Jacobson IG, Smith B and al for the Millenium Cohort Study Team.Risk of Diabetes in US Military Service Members in Relation to Combat Deployment and Mental Health. Diabetes Care 2010;33:1771-7.

[5] Boyco EJ, Seelig A, Jacobson IG, and al for the Millenium Cohort Study Team.Sleep Characteristics, Mental Health, and Diabetes Risk.Diabetes Care 2013;36:3154-61.

[6] Diabète traité : quelles évolutions entre 2000 et 2009 en France ? BEH 42-42, 9 novembre 2010.

[7] Diabète gestationnel. Synthèse des recommandations. Journal de Gynécologie Obstétrique et Biologie de la Reproduction 2009;38, S338-S342.

[8] Intensive blood-glucose control with sulphonylureas or insulin compared with conventional treatment and risk of complications in patients with type 2 diabetes (UKPDS 33). UK Prospective Diabetes Study (UKPDS) Group. Lancet. 1998 Sep 12;352(9131):837-53

[9] The Effect of Intensive Treatment of Diabetes on the Development and Progression of Long-Term Complications in Insulin-Dependent Diabetes Mellitus; The Diabetes Control and Complications Trial Research Group. N Engl J Med 1993; 329:977-86.

[10] Holman RR, Paul SK, Bethel MA, Matthews DR, and Neil AW. 10-Year Follow-up of Intensive Glucose Control in Type 2 Diabetes. N Engl J Med 2008; 359:1577-89http://www.nejm.org/toc/nejm/329/14/
[11] Gaede P, Lund-Andersen H, Parving HH, Pedersen O. Effect of a multifactorial intervention on mortality in type 2 diabetes. N Engl J Med 2008 ; 358 : 580-91.
[12] www.has-sante.fr/portail/jcms/c.../recommandations-diabete-de-type-2
[13] Pan XR, Li GW, Hu YH and al. Effects of diet and exercise in preventing NIDDM in people with impaired glucose tolerance. The Da Qing IGT and Diabetes Study. Diabetes Care 1997;20(4):537-44.
[14] Lindtsröm J, Louheranta A, Mannelin M and al for the Finnish Diabetes Prevention Study Group. The Finnish Diabetes Prevention Study (DPS). Lifestyle intervention and 3-year results on diet and physical activity. Diabetes Care 2003;26:3230-6.
[15] The Diabetes Prevention Program (DPP) Description of lifestyle intervention. The Diabetes Prevention Program Research group (DPP). Diabetes Care 2002;25:2165-71.
[16] Bordier L, Polosecki AS, Garcia C, Dupuy O, Bauduceau B, Mayaudon H. Surpoids et obésité dans les armées : résultat à 5 ans de l'étude Epimil. Congrès de la Société Francophone du Diabète. 26-29 Mars 2013. Poster. Abstract. Diabetes Metabolism. 2013 ; 39 : Special issue 1. A105.

Infections et maladies systémiques

Thierry Carmoi

1. Introduction

Les rapports entre infections et maladies systémiques sont étroits : certains agents infectieux sont réputés être le substrat de maladies systémiques, certaines maladies systémiques se présentent sous un masque fébrile comme une pathologie infectieuse et certaines infections ont des expressions multi-organes. Enfin les traitements immuno-suppresseurs utilisés dans les maladies auto-immunes sont de grands pourvoyeurs d'infections, c'est d'ailleurs leur effet collatéral le plus prévisible. Nous allons synthétiser ces différents aspects en les illustrant de quelques exemples.

2. Définitions

L'infection correspond à l'ensemble des manifestations cliniques et/ou paracliniques en rapport avec une invasion par un agent pathogène, qu'il soit bactérien, viral ou parasitaire.

Nous choisissons de définir la maladie systémique comme une maladie touchant plus de deux organes. Les grands groupes de pathologies concernés en médecine interne sont :

- les vascularites : inflammation de tout ou partie de la paroi des vaisseaux, elles sont classées (classification de Chapel Hill [1]) en fonction du diamètre des vaisseaux atteints (gros, moyens et petits vaisseaux pour les artères, capillaires et veines) ;

- les connectivites : par ordre décroissant de fréquence, les cinq principales : polyarthrite rhumatoïde, syndrome de Gougerot-Sjögren, lupus, sclérodermie systémique et myopathies inflammatoires ;

- et ce que nous appellerons les « réactions inflammatoires générales touchant plus de deux organes ou appareils » puisque nombre de maladies systémiques n'entrent pas dans la nosologie duale des connectivites et vascularites et que celles qui nous intéressent et dont nous prendrons quelques exemples sont celles qui provoquent une inflammation clinico-biologique.

3. Physiologie

Pour rester très schématique, le système immunitaire se partage entre immunité innée et immunité adaptative. L'immunité innée correspond à une succession de réponses simples et immédiates déclenchées par la reconnaissance de constituants microbiens très conservés. Elle est essentiellement représentée par la phagocytose

cellulaire médiée par les polynucléaires et les macrophages. L'immunité adaptative est retardée mais permet une réponse spécifique, évolutive, et dotée d'une mémoire immunitaire. Elle débute par la présentation d'antigènes microbiens par les cellules présentatrices d'antigènes (CPA) aux lymphocytes T (LT) CD4 qui permet alors une réaction de défense tissulaire (TH1) via les LT CD8, ou humorale (TH2) via les lymphocytes B et les anticorps. Ce système se met en place à travers un certain nombre de cytokines pro-inflammatoires: *Tumor necrosis factor* (TNF), interleukines et interféron pour les principales. Une balance physiologique de régulation existe entre ces deux systèmes TH1 et TH2.

4. Physiopathologie

Un certain nombre d'antigènes infectieux sont impliqués comme *starter* d'un processus inflammatoire dérégulé à l'origine d'une maladie générale. Il existe trois mécanismes principaux par lesquels un agent pathogène est capable d'induire une rupture de la tolérance immunitaire : le premier est la réaction antigénique croisée entre un antigène microbien et un antigène du soi. Le second est le rôle de « super-antigène » de certaines toxines permettant d'activer des lymphocytes T auto-réactifs sans la mise en œuvre d'une interaction antigène/récepteur spécifique. Le troisième est représenté par les effets indirects de l'agent pathogène: relargage d'antigène par les tissus infectés, transformation de certains antigènes devenant immunogènes et stimulation chronique de l'immunité favorisant une rupture de tolérance.

Certains agents infectieux sont mis en cause – sans toutefois de niveau de preuve – dans le déclenchement de pathologies générales : mycobactéries et sarcoïdose, streptocoque oral et maladie de Behcet, staphylocoque et granulomatose avec polyangéite (ex maladie de Wegener), virus d'Epstein Barr et lupus, parvovirus B19 et CMV dans la polyarthrite rhumatoïde.

D'autres agents infectieux sont par contre impliqués de manière certaine dans la physiopathologie de maladies systémiques : virus HHV8 dans la maladie de Castelman, virus de l'hépatite B dans la périartérite noueuse et virus de l'hépatite C dans les cryoglobulinémies (cf infra).

Le dérèglement de la balance physiologique TH1/TH2 est le substrat d'un certain nombre de pathologies. Les dysfonctions du système immunitaire et la dérégulation du système cytokinique font le lit physiopathologique de nombre de maladies systémiques.

La fonction du traitement immunosuppresseur est donc d'affaiblir une partie (la plus ciblée possible) de cette dysfonction immunitaire. La contrepartie obligée est l'altération d'un ou plusieurs des remparts physiologiques de défense abordés précédemment, augmentant ainsi le risque infectieux. La défaillance du système neutrophile/macrophages augmente le risque d'infection bactérienne et fongique, la défaillance du système lymphocytaire augmente le risque d'infection par virus du

groupe herpès par exemple. Selon la cible de l'immunosuppresseur et la profondeur de l'immunosuppression, le risque infectieux sera donc différent.

4.1. Deux exemples de maladies systémiques liées à un agent infectieux

4.1.1. La vascularite cryoglobulinémique et le virus de l'hépatite C (VHC) [2]

Au plan physiopathologique, le virus de l'hépatite C stimule les CPA pour aboutir à une réaction TH2 et la formation d'anticorps (AC) anti VHC et d'une IgM aux propriétés « facteur rhumatoïde – cryoglobuline » qui viennent se combiner entre eux et au virion pour former un complexe immun circulant à l'origine d'une vascularite des petits vaisseaux.

Au plan épidémiologique il faut retenir que les sujets porteurs de VHC sont estimés à 500 000 en France dont 30 à 50 % sont porteurs d'une cryoglobuline. Au sein de ce sous groupe, 15 à 30 % sont symptomatiques. À l'inverse, 50% des cryoglobulinémies mixtes sont d'origine virale (VHC).

Cliniquement le tableau associe typiquement asthénie, arthralgie et des atteintes cutanées déclenchées par le froid : purpura vasculaire infiltré, urticaire au froid, syndrome de Raynaud, ulcères sus-malléolaires douloureux et chroniques. Le caractère systémique peut être plus bruyant avec des atteintes neurologiques de type polyneuropathie sensitive (motrice le plus souvent) ou des mononeuropathies multiples (paralysie du sciatique poplité externe [SPE] par exemple). Il peut exister une atteinte rénale avec une protéinurie, une hématurie et une insuffisance rénale. L'atteinte histologique est dans ce cas le plus souvent une glomérulonéphrite membrano-proliférative où on retrouve des dépôts d'IgM et de complément. La gravité peut être estimée à l'instar d'autres vascularites par le *Five Factors Score* (FFS) révisé [3] (tableau 1) afin de déterminer le niveau de traitement initial.

Tableau 1. *Five Factors Score* révisé 2011.

1. âge>65 ans 2. atteinte cardiaque spécifique 3. atteinte digestive spécifique 4. créatininémie> 150µmoles/l Atteinte ORL pour la granulomatose avec polyangéite : si elle présente : – 1 pt (c'est-à-dire qu'elle est protectrice), si elle est absente : +1 pt L'atteinte neurologique centrale (ou périphérique), la protéinurie (ou l'hématurie) et l'hémorragie intra-alvéolaire n'interviennent plus dans le pronostic FFS = 0 : 9% de mortalité à 5 ans FFS = 1 : 21% de mortalité à 5 ans FFS >= 2 : 40% de mortalité à 5 ans.

La présence d'une cryoglobuline (type IgM) peut être suspectée devant une baisse du C4, du CH50, et la présence d'un facteur rhumatoïde positif.

Les phases du diagnostic comportent successivement une détection par recueil sur prélèvement sanguin qui doit être réalisé avec une méthodologie précise et standardisée : recueil, transport et centrifugation à 37° puis stockage à +4° avec examen du sédiment quotidien pendant 7 jours à la recherche de l'apparition d'un cryoprécipité. Il faut ensuite quantifier le cryoprécipité, le seuil étant de 50 mg/l. Il faut typer la cryoglobuline : type I composé d'une immunoglobuline habituellement de type M, monoclonale, type II : IgM monoclonale associée à des immunoglobulines polyclonales, type III : immunoglobulines polyclonales. Les types II et III sont les cryoglobulinémies mixtes, et c'est ce groupe qui est à l'origine des vascularites liées au VHC.

Pour les formes graves de vascularite ou les ulcères cutanés réfractaires, le traitement repose sur le rituximab (Anti CD20) à la dose de 375 mg/m^2 hebdomadaire pendant quatre semaines consécutives (à l'instar du protocole lymphome). Ensuite une phase de latence de quatre semaines est observée avant un traitement du VHC par la combinaison interféron pégylé – ribavirine pendant 14 mois. Pour les génotypes 2-3, une guérison est observée dans 75 % des cas à 24 semaines. Notons que de nouvelles associations thérapeutiques sont déjà utilisées pour traiter efficacement le VHC, y compris les génotypes 1 et 4 réputés réfractaires au traitement.

4.1.2. La périartérite noueuse et le virus de l'hépatite B (VHB) [4]

La périartérite noueuse (PAN) est une vascularite nécrosante des artères de moyen calibre à tendance anévrysmale dont la physiopathologie est moins claire que pour la cryoglobulinémie liée au VHC.

Avec les campagnes de vaccination protégeant de l'infection par le VHB, cette vascularite est devenue rare et elle pose des difficultés diagnostiques en l'absence d'élément de certitude puisqu'aucun élément clinique ou biologique n'est spécifique du diagnostic.

Au plan clinique il s'agit souvent de sujets fébriles avec une importante altération de l'état général et une hypertension artérielle (cf. infra). Le tableau clinique peut s'enrichir au fur et à mesure de myalgies intenses, diffuses, sans déficit de force, sans élévation des CPK, avec une amyotrophie, une perte de poids et des arthralgies des grosses articulations.

Il peut exister des signes cutanés : purpura vasculaire infiltré, déclive, parfois isolé ou associé à des nodules enchâssés dans la jonction derme-hypoderme sur les trajets vasculaires et ayant donné son nom à la maladie. On peut observer un *livedo racemosa* (marbrures) ou *reticularis* (en mailles).

Ce tableau peut aussi s'enrichir de signes plus évocateurs : mononeuropathie multiplex, distale, asymétrique, précoce, voire inaugurale, pouvant toucher le SPE, le

SPI, le nerf radial ou cubital, avec une atteinte sensitivomotrice et une anesthésie douloureuse. L'électromyogramme confirme une atteinte axonale.

La gravité est liée à l'atteinte de certains organes :

- système nerveux central : comitialité, ruptures d'anévrysmes, AVC ;

- appareil digestif : première cause de décès, par perforation en particulier. Le diagnostic peut être difficile : douleur « banale » au début, hémorragie digestive, cholécystite, appendicite, tableau d'abdomen douloureux et fébrile pseudo chirurgical où le scanner montre une perforation par ischémie du grêle ;

- cardiaque: vascularite coronaire avec ischémie myocardique chronique ou angor de novo ;

- rein : néphropathie vasculaire avec hypertension artérielle et ischémie glomérulaire, l'insuffisance rénale est parfois aiguë et précoce. S'il existe un doute avec d'autres causes, faisant discuter l'indication d'une ponction-biopsie rénale (PBR), il faut réaliser une imagerie artérielle des artères rénales car cette vascularite provoque des micro-anévrysmes sacciformes dans les territoires des artères rénales et mésentériques, d'un diamètre de 1 à 5 mm, qui disparaissent sous traitement. La PBR est alors risquée.

Si le tableau clinique est complet ou riche, le diagnostic est facilement évoqué. Dans le cas contraire, aucun élément n'est déterminant, la biologie est décevante en montrant un banal syndrome inflammatoire. Une lésion cutanée devra être biopsiée à la recherche d'une vascularite avec nécrose fibrinoïde segmentaire d'artères de petit et moyen calibre, associée à des lésions d'âge différent, des cicatrices fibreuses à l'origine des anévrysmes. Le muscle sera biopsié si la myopathie est prédominante

Quinze pour cent des PAN sont liées au VHB, plus rarement au VHC, au VIH, au parvovirus B19 ou encore à HTLV1.

Ici encore le FFS détermine l'intensité du traitement initial de la vascularite :

- FFS = 0 ou 1 : corticothérapie 1 mg/kg/jour seule ;

- FFS >1: corticothérapie en bolus puis relais per os, associée à des bolus de cyclophosphamide à la dose de 0.6 g/m^2/mois pendant 1 an.

Dans les formes graves de PAN liées au VHB, on introduit une corticothérapie 10 jours, suivie d'échanges plasmatiques au rythme de 3 fois par semaine S1-2-3, 2 fois par semaine S4-5, puis 1 fois par semaine jusqu'à rémission. Le VHB est ensuite traité par entécavir ou ténofovir.

Une guérison de la PAN est obtenue dans près de 70% des cas et une séroconversion AgHbe ⇨ AC anti Hbe dans 49 %, antiHbC dans 25 % des cas. Notons 5 % de rechutes et tout de même 10 à 30 % de décès, ce qui fait de la PAN une maladie grave.

4.2. Des présentations cliniques communes : des infections qui miment des maladies systémiques et vice versa.

4.2.1. Des infections qui miment des maladies systémiques

4.2.1.1. L'endocardite infectieuse

L'endocardite infectieuse se manifeste par un tableau de fièvre aiguë ou prolongée parfois accompagné de manifestations systémiques : purpura vasculaire, splénomégalie, arthromyalgies, glomérulonéphrite infectieuse ou embolies systémiques.

Le diagnostic repose sur les critères de Dukes dont les deux piliers sont des hémocultures répétées et les données de l'échographie transoesophagienne à la recherche de végétations.

Le diagnostic est parfois difficile car les hémocultures ont pu être négativées par une antibiothérapie préalable, elles peuvent aussi être négatives du fait des atypies de certains germes qu'il faudra évoquer (germes HACEK, bartonellose, fièvre Q).

En médecine interne chez un patient lupique, un diagnostic différentiel parfois difficile est l'endocardite de Libman-Sacks qui consiste en un épaississement inflammatoire des feuillets valvulaires mais qui peut aussi se surinfecter voire générer des embols systémiques.

4.2.1.2. Mycoplasme [5]

Mycoplasma pneumoniae est une bactérie intracellulaire responsable de 20 à 50 % des pneumonies aiguës communautaires.

En termes de terrain, il s'agit plus volontiers d'enfants ou d'adultes jeunes avec un contexte épidémique fréquent et parfois sous estimé, à évoquer en collectivité militaire par exemple.

À côté du tableau classique de pneumopathie, *M. pneumoniae* peut entraîner des manifestations systémiques dans lesquelles le tableau respiratoire est parfois au second plan ce qui complique la démarche diagnostique si cette cause n'est pas évoquée devant des manifestations :

- hématologiques : anémie hémolytique à auto-Ac froids de type IgM, thrombopénie voire pancytopénie ;
- cutanées : exanthème banal, érythème noueux, érythème polymorphe, syndrome de Stevens Johnson avec un décollement cutané important ainsi qu'une atteinte cutanéo-muqueuse (oculaire, buccale, génitale) ;
- cardiaques : myocardite ou péricardite ;
- rénales : glomérulonéphrite membrano-proliférative voire syndrome néphrotique ;
- neurologiques : méningites, certaines équipes recommandant la recherche systématique de *M. pneumoniae* devant toute méningite à liquide clair inexpliquée, encéphalite, myélite, plus rarement syndrome de Guillain Barré.

4.2.1.3. La maladie de Whipple

La maladie de Whipple est une pathologie infectieuse chronique qui reste rare (1000 cas documentés) dans laquelle tous les organes sont susceptibles d'être envahis par *Tropheryma whipplei*. Les manifestations cliniques sont polymorphes : polyarthrite ou ténosynovites récurrentes, atteinte digestive fréquente faite de diarrhée et/ou de malabsorption. La maladie peut se présenter sous forme de manifestations neuro-psychiatriques aspécifiques, de péricardite, de valvulopathie, d'endocardite à hémocultures négatives ou de pleurite.

L'endoscopie gastrique permet d'effectuer des biopsies duodénales qui montrent des macrophages PAS positifs. En cas de suspicion diagnostique, il faudra congeler des prélèvements afin de réaliser une technique PCR *Tropheryma whipplei* qui confortera le diagnostic. Un technique PCR sérique est aussi réalisable dans les tableaux d'endocardite ou neurologiques.

4.2.2. L'interface entre deux mondes : le syndrome d'activation macrophagique [6]

Le substrat du syndrome d'activation macrophagique (SAM) est une dérégulation de cellules médullaires (macrophages, histiocytes) fonctionnellement normales mais hyper-produites et hyper-stimulées. Le SAM est lié à une stimulation inappropriée des cellules macrophagiques dans la moelle osseuse et le système lymphoïde, ce qui entraîne une phagocytose anormale des éléments figurés du sang et la libération de cytokines pro-inflammatoires.

Le *starter* est souvent infectieux mais le SAM peut aussi être secondaire à une hémopathie ou un certain nombre de pathologies auto-immunes.

Il s'agit donc bien d'une interface étroite entre infections et maladies systémiques.

Pour les SAM d'origine infectieuse, les agents les plus souvent incriminés sont certains virus (*Herpesviridae*, VIH) ou une infection par mycobactérie.

Le début est brutal avec une fièvre hectique, une profonde altération de l'état général, une hépato-splénomégalie, la biologie montre une pancytopénie avec élévation des LDH, des transaminases, des triglycérides et une franche hyperferritinémie (4 à 10 x N).

Le diagnostic est porté sur le myélogramme où est observée une surexpression des macrophages médullaires (> 2 %) avec des signes d'érythro-cyto-phagocytose.

Le traitement cherche simultanément à prendre en charge la cause et repose sur l'étoposide en première intention, quelle que soit la pathologie sous jacente.

4.2.3. Des maladies systémiques qui miment des infections

4.2.3.1. La maladie de Still [7]

La maladie de Still de l'adulte (MSA) est une maladie auto-inflammatoire responsable de fièvre inexpliquée chez l'adulte jeune. Le tableau clinique associe une

fièvre élevée (> 39°C), parfois pseudo septique, vespérale et intermittente, des arthralgies ou de véritables arthrites et une éruption cutanée maculo-papuleuse, non prurigineuse, fugace et apparaissant souvent en fin de journée (« signe de la contre-visite ») présente dans 80% des cas. La douleur pharyngée sans anomalie de l'examen ORL témoignerait d'une « arthrite » crico-aryténoïdienne et signe alors la maladie. Au plan biologique certaines anomalies sont évocatrices: une hyperleucocytose à polynucléaires neutrophiles, la cytolyse hépatique ou l'élévation des LDH. L'élévation de la ferritinémie avec une diminution de sa fraction glycosylée à moins de 20 % est très évocatrice mais inconstante : une ferritinémie supérieure à cinq fois la normale avec une ferritine glycosylée inférieure à 20 % aurait une spécificité de 92,8 % mais une sensibilité seulement de 43,2 %. Deux types de critères diagnostiques ont été proposés. Ceux de Yamagushi (sensibilité de 79,2 %, spécificité de 93,8 %) ont l'intérêt de formuler des critères d'exclusion, ce qui correspond à la démarche diagnostique naturelle au cours de la MSA pour laquelle de nombreuses étiologies infectieuses, néoplasiques (hémopathies) et inflammatoires sont habituellement évoquées et responsables d'un retard diagnostique parfois important. Les critères de Fautrel ont une sensibilité de80,6 % et une spécificité de 98,5 % (tableau 2).

Les atteintes viscérales (cardiaques, pleuro-pulmonaires, hépatiques, CIVD ou syndrome d'activation macrophagique dans les formes sévères) déterminent la gravité et engagent le pronostic vital tandis que les localisations articulaires sous-tendent la gravité fonctionnelle.

Tableau 2. Critères de Fautrel ; diagnostic : 4 critères majeurs ou 3 majeurs et 2 mineurs.

Majeurs	Mineurs
Fièvre > 39° C Arthralgies Exanthème transitoire Pharyngite PNN > 80% Ferritine glycosylée < 20%	Rash maculopapuleux Leucocytes > 10 000/mm^3

4.2.3.2. L'expression fruste d'une pathologie systémique : l'exemple des pneumopathies résistantes aux antibiotiques

Lorsqu'une pneumopathie d'allure infectieuse résiste aux antibiotiques ou est accompagnée de signes systémiques inhabituels, il faut évoquer une cause inflammatoire. Il peut s'agir de manifestations pulmonaires isolées des vascularites à anticorps anti cytoplasme des polynucléaires neutrophiles (ANCA) : la granulomatose avec polyangéite (ex Wegener), la granulomatose éosinophilique avec polyangéite (ex Churg et Strauss), la polyangéïte microscopique ; ou encore de connectivites, essentiellement le lupus.

Les manifestations pulmonaires des vascularites à ANCA [8] sont souvent aspécifiques au début dans un contexte d'altération de l'état général et de fièvre : dyspnée, toux, asthme un peu particulier : ancien, cortico-nécessitant et malgré tout aggravé, associé à une franche hyperéosinophilie.

La radiographie peut montrer des infiltrats ou des nodules parfois difficiles à différencier de foyers infectieux. Le scanner est généralement plus précis en montrant des infiltrats périphériques et/ou des nodules pleins ou excavés (granulomatose avec polyangéite) qui peuvent poser un problème de diagnostic différentiel avec une tuberculose.

Lorsque la vascularite est inconnue et que l'atteinte pulmonaire semble être au premier plan, le diagnostic peut toutefois être facile s'il existe des signes extra pulmonaires : purpura vasculaire, atteinte rénale, atteinte ORL (granulomatose avec polyangéite), mononeuropathie multiplex (polyangéite microscopique), atteinte cardiaque et hyperéosinophilie (granulomatose éosinophilique avec polyangéite). La recherche d'ANCA est alors déterminante.

L'atteinte pulmonaire dans le lupus est majoritairement représentée par les pleurésies. Il peut exister, au cours d'un lupus déjà connu ou lors du diagnostic, un tableau pulmonaire parenchymateux avec des infiltrats qui posent la question d'une infection, en particulier chez un sujet sous immunosuppresseurs, ou d'une pneumonie aiguë lupique spécifique plus rare. Signalons la possibilité d'autres manifestations pulmonaires parenchymateuses « inflammatoires » de type pneumopathie organisée cryptogénétique (POC), pneumopathie interstitielle non spécifique (PINS) qui peuvent parfois prêter à confusion avec un tableau infectieux.

4.3. Complications infectieuses des traitements immunosuppresseurs

Dans cette partie nous ne traiterons que des complications infectieuses des traitements (immunosuppresseurs) des maladies systémiques. Il s'agit de complications fréquentes et documentées et donc potentiellement évitables. À titre d'exemple les complications infectieuses représentent 17 % (3e cause) des causes de mortalité des lupus, 9 à 30 % pour les myopathies inflammatoires et 2 à 9 % pour les sclérodermies [9].

L'ensemble des traitements immuno-modulateurs ou immunosuppresseurs inhibent une partie plus ou moins large de la réponse immunitaire cellulaire innée (corticoïdes, méthotrexate) ou adaptative (azathioprine, cyclophosphamide, anti CD20) ou encore cytokinique (anti TNF alpha).

4.3.1. Les complications infectieuses en fonction des cibles de l'immunosuppression

Les complications infectieuses peuvent être prévisibles selon la cible de l'immunosuppresseur voire selon le traitement utilisé. L'immunosuppression des

polynucléaires neutrophiles expose au sur-risque d'infection par pyogènes et champignons, la déplétion lymphocytaire au sur-risque de pneumocystose ou d'infection virale par le groupe Herpès.

Le risque est particulièrement identifié avec certaines molécules :

- l'utilisation des antiTNF alpha expose au sur-risque de tuberculose. Les premières alertes surviennent en 2001, 46 cas sont décrits de 2004 à 2007. Dans 53 % des cas, il existait des facteurs de risque épidémiologiques de tuberculose et l'infection survient en moyenne 33 semaines après le début du traitement. Le risque est différent selon les molécules : il est maximal avec l'adalimumab, moindre avec l'infliximab et l'étanercept ;

- l'utilisation du cyclophosphamide majore le risque de pneumocystose et cette donnée a été particulièrement documentée dans des groupes de patients porteurs de granulomatose avec polyangéite traités par cyclophosphamide. Tout patient présentant une granulomatose avec polyangéite sous cyclophosphamide doit prendre une prophylaxie par Bactrim forte 1 cp un jour sur 2 ;

- l'utilisation du mycophénolate mofétil mais surtout du rituximab expose au risque de survenue d'une leucoencéphalopathie multifocale progressive (LEMP). Ce risque doit être expliqué aux patients sous rituximab, la traçabilité de cette information étant concrétisée par la remise d'un carnet personnel mentionnant les explications détaillées des risques et les symptômes qui doivent inciter à consulter sans délai.

4.3.2. Les complications infectieuses en fonction des organes atteints

Les complications infectieuses peuvent être abordées par organe.

Au préalable, il est fondamental de rappeler que les tableaux infectieux sous immunosuppresseurs sont généralement torpides et asthéniques puisque les signaux d'alerte sont atténués par l'immunosuppression. La fièvre est en particulier habituellement moins présente, en particulier si le sujet est âgé. Il faudra donc être d'autant plus vigilant.

Les complications pulmonaires des traitements immunosuppresseurs sont essentiellement bactériennes. Le pneumocoque est la principale cause de mortalité chez les patients lupiques ou porteurs de polyarthrite rhumatoïde. La légionellose est aussi impliquée dans les pneumopathies des immunodéprimés.

La pneumocystose à *Pneumocystis jiroveci* devra être évoquée devant toute pneumopathie atypique, en particulier si elle est bilatérale et hypoxémiante.

Les atteintes neurologiques centrales peuvent être à la fois redoutables et torpides, ce qui nécessite d'en connaître l'essentiel : la cryptococcose neuroméningée sera évoquée devant un tableau neuro-méningé parfois banal et recherchée par un test à l'encre de Chine sur le LCR. Il existe aussi une technique de détection par PCR, disponible dans certains centres. L'infection par réactivation du virus JC (isolé pour la

première fois en 1971 par John Cunningham, ses initiales donnant le nom au virus), agent de la LEMP, est une complication dramatique et généralement irréversible se présentant sous la forme d'une démence subaiguë.

Au niveau hépatique, seule l'hépatite B est préoccupante. Schématiquement, les patients porteurs chroniques du virus de l'hépatite B sont dans un état d'immunotolérance avec leur virus qui est contrôlé par leur système immunitaire. Lors d'un traitement immunosuppresseur, la réplication du virus n'est plus entravée et il se multiplie en infestant tous les hépatocytes. À l'arrêt du traitement immuno-suppresseur se produit une restauration immunitaire avec une destruction immuno-médiée des hépatocytes et risque d'hépatite aiguë (grave). Selon le statut sérologique des sujets, une prise en charge adaptée doit être proposée (infra).

Les complications infectieuses cutanées sont essentiellement faites d'infections à staphylocoque, d'atteinte virale par le groupe Herpès (zona et récurrences herpétiques).

Au niveau digestif il peut survenir une colite liée au cytomégalovirus (CMV) et devant toute diarrhée, une infection à *Clostridium difficile* doit être évoquée et une recherche de toxine demandée.

L'anguillulose est une parasitose cosmopolite à laquelle sont exposés tous les voyageurs, en particulier les militaires en mission sous les tropiques. *Strongyloides stercoralis* existe sous trois formes: adulte, larve rhabditoïde et larve strongyloïde infestante. La femelle adulte vit dans la muqueuse du duodénum et du jéjunum de l'homme. Il existe un cycle d'auto réinfestation plus ou moins permanent et plus ou moins bruyant. Une fois les parasites installés dans le duodénum, ils peuvent rester quiescents dans le tube digestif pendant des années. Il est ainsi important de rechercher un séjour tropical parfois très ancien. À l'occasion d'une corticothérapie, il peut se produire un emballement du cycle normal de réinfestation et un envahissement d'organes habituellement épargnés (système nerveux central, atteinte cardiaque), la mortalité peut alors aller jusqu'à 80 %.

5. Bilan pré-thérapeutique

L'évaluation pré-thérapeutique chez des patients qui vont subir un traitement immunosuppresseur doit être systématique. Un certain nombre de mesures sont communes à tous les traitements immunosuppresseurs.

L'anamnèse doit rechercher un contage infectieux (tuberculose) et des séjours outre-mer.

La recherche d'Ag HbS, d'Ac anti HbC (et de DNA viral du VHB en cas de positivité de l'Ag HbS), d'Ac anti VHC et anti-VIH est systématique.

On réalisera une IDR, une radiographie pulmonaire. La réalisation d'un test Quantiféron reste débattue compte tenu de son interprétation toujours difficile.

Enfin un hémogramme est systématique pour dépister une hyperéosinophilie pouvant témoigner d'une éventuelle infestation parasitaire.

Concernant les vaccinations, la réponse aux vaccins (production d'immunoglobulines protectrices) est aléatoire selon le degré d'immunodépression. La mise à jour du calendrier vaccinal est recommandée avant la mise sous immunosuppresseurs lorsque la chronologie le permet.

Le Haut Conseil de la Santé Publique a rédigé en 2012 un rapport très complet et disponible en ligne sur la vaccination des patients immuno-déprimés ou aspléniques.

Les vaccins vivants atténués sont contre indiqués si la dose de corticothérapie est supérieure à 20 mg/j plus de deux semaines ou en cas d'utilisation d'immunosuppresseurs. Une vaccination contre l'hépatite B est recommandée si l'Ag HBs et l'Ac anti HBs sont négatifs.

Tous les patients doivent être vaccinés contre la grippe et il faut aussi proposer la vaccination à la famille pour éviter une contamination intra familiale.

Concernant la vaccination anti-pneumococcique, étant donné la démonstration d'une meilleure immunogénicité du vaccin conjugué et du risque d'hyporéactivité induit par le vaccin non conjugué, la recommandation actuelle est d'administrer une dose de vaccin polyosidique conjugué 13-valent, suivie d'une dose de vaccin polyosidique non conjugué 23-valent au moins deux mois après.

Utilisation des anti Tumor Necrosis Factor (TNF) : l'intégralité des recommandations de bonnes pratiques concernant l'usage des anti TNF est disponible dans la Revue du Rhumatisme, volume 80 (2013) accessible en ligne. Le bilan pré-thérapeutique et les vaccinations recommandées y sont précisés.

6. Des traitements préventifs ?

Dans certaines situations, un traitement peut être proposé afin de prévenir l'infection.

C'est le cas de l'hépatite B si la recherche de DNA viral est positive. Dans ce cas, un traitement préemptif est proposé : on utilisera la lamivudine si la charge virale est inférieure à10^7, l'entécavir ou le tenofovir si la charge virale est supérieure à 10^7.

Si l'Ac anti HBc est positif on surveillera régulièrement le DNA viral, et un traitement antiviral n'est indiqué que si le rituximab ou le cyclophosphamide sont utilisés. Compte tenu de la profondeur de l'immunosuppression dans ce contexte, une réactivation du virus B à partir des virus « super-enroulés » dans les hépatocytes est possible.

Si une tuberculose-infection est diagnostiquée (radiographie du thorax montrant des séquelles, IDR phlycténulaire), une bi-thérapie associant rifampicine et isoniazide (Rifinah®) est réalisée pendant trois mois.

La nécessité d'une prévention de la pneumocystose à *Pneumocystis jiroveci* a surtout été documentée dans la granulomatose avec polyangétite, une prophylaxie par Bactrim® Forte 1cp un jour sur deux est prescrite.

La survenue d'une anguillulose maligne peut être prévenue très simplement par

la prise d'ivermectine (Stromectol®) 200µg/kg en prise unique à jeun au début de la corticothérapie.

Les récurrences herpétiques peuvent être prévenues par valaciclovir 250 mg x 2/j qui a l'AMM s'il existe plus de trois poussées/an.

7. Conclusion

En conclusion, devant un patient présentant un tableau infectieux sur un terrain de pathologie systémique traitée par immunosuppresseur, le clinicien doit toujours se poser la question de savoir s'il s'agit d'une poussée évolutive de la maladie sous traitement ou d'une complication infectieuse des immunosuppresseurs. Les thérapeutiques immunosuppressives d'avenir seront sans doute toujours plus ciblées, avec des complications infectieuses espérons-le encore mieux maitrisées.

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de cette leçon des 24 heures (par ordre alphabétique) : Jean-Pierre Algayres, Audrey Cambon, Gilles Defuentes, Cécile Ficko, Caroline Klotz, Stéphane Lecoules, Jacques Margery.

Références bibliographiques

[1] Jennette JC. 2012 revised International Chapel Hill Consensus Conference Nomenclature of Vasculitides. Arthritis Rheum, 2013 (1):1-11.

[2] Cacoub P. Manifestations extrahépatiques associées au virus de l'hépatite C. Med Mal Infect, 2000 (30):34-42.

[3] Guillevin et al. The Five-Factor Score revisited: assessment of prognoses of systemic necrotizing vasculitides based on the French Vasculitis Study Group (FVSG) cohort Medicine (Baltimore), 2011(1):19-27.

[4] Terrier B, Cacoub P. Virus de l'hépatite B, manifestations extra-hépatiques immunologiques et risque de réactivation virale. Rev Med Interne, 2011 (32): 622-7.

[5] Garnier JM. L'infection extra-pulmonaire à Mycoplasma pneumoniae. Archives de Pédiatrie 2005 (12):2-6.

[6] Karras A, Hermine O. Syndrome d'activation macrophagique. Rev Med Interne, 2002 (23):768-78.

[7] Fautrel B. Proposal for a new set of classification criteria for adult-onset Still disease. Medicine (Baltimore), 2002 (81):194-200.

[8] Defuentes G. Manifestations pleuropulmonaires des vascularites nécrosantes. Revue Pneumol Clin, 2010 (66):295-301.

[9] Mouthon L. Risque infectieux et maladies systémiques : où en sommes nous en 2009 ? Presse Med, 2009 (38): 232-4.

Les maladies auto-immunes : un défi pour l'Afrique subsaharienne

Gning Sara Boury

1. Introduction

L'obtention d'un diagnostic précis ainsi qu'une prise en charge thérapeutique correcte constituent une exigence pour tout médecin en général et l'interniste en particulier. Dans le domaine des maladies auto-immunes, ce diagnostic et ce traitement font souvent appel à des moyens onéreux, souvent inaccessibles dans les pays sous-développés. Pourtant, dans ces mêmes pays, une véritable transition épidémiologique est en train de s'opérer des maladies transmissibles vers les maladies non transmissibles parmi lesquelles se distinguent les maladies auto-immunes.

Les maladies auto-immunes comprennent des maladies spécifiques d'organeS et des maladies systémiques. Les maladies auto-immunes d'organes sont représentées par exemple par des affections hématologiques (maladie de Biermer), des endocrinopathies (maladie de Basedow, diabète sucré de type 1, …), des hépatopathies (hépatite auto-immune), des affections digestives (maladie coeliaque), ou neurologiques (myasthénie). Ces pathologies sont fréquemment rencontrées dans notre contexte ; leur diagnostic est souvent aisé et leur traitement bien codifié. Elles représentent ainsi un défi très relatif. *A contrario*, le véritable problème est constitué par les maladies auto-immunes systémiques (atteinte d'au moins deux organes). Ce sont avant tout les connectivites et les rhumatismes inflammatoires : il s'agit essentiellement du lupus érythémateux systémique, de la polyarthrite rhumatoïde, puis les myopathies inflammatoires, la sclérodermie systémique et le syndrome de Gougerot-Sjögren. Beaucoup plus rarement sont rencontrées les vascularites, notamment les vascularites à ANCA. Il s'agit d'affections caractérisées par une atteinte inflammatoire de la paroi vasculaire prédominant sur les vaisseaux de petit et de moyen calibre, et par la présence fondamentale mais non constante d'anticorps dirigés contre le cytoplasme des polynucléaires neutrophiles. Ce sont la granulomatose avec polyangéite (GPA), la granulomatose éosinophilique avec polyangéite (GEPA), et la polyangéite microscopique (PAM).

L'Afrique subsaharienne est la zone de l'Afrique située au Sud du Sahara. Elle est marquée par un contexte épidémiologique particulier.

2. Contexte épidémiologique de l'Afrique subsaharienne

Les données épidémiologiques sont généralement rares. Les rares données de prévalence globale concernent le lupus érythémateux systémique et la polyarthrite

rhumatoïde (PR). La prévalence du lupus est estimée à 12,2/100 000 habitants en Afrique du sud et entre 0,46 et 1,2 % au Nigéria [1]. La polyarthrite rhumatoïde a une prévalence globalement estimée en Afrique entre 0,1 et 0,9 % [2]. Dans les séries hospitalières, les données sont superposables avec une prédominance de la polyarthrite rhumatoïde et du lupus. Dans une série sénégalaise [3], 192 cas de polyarthrite rhumatoïde ont été recensés en 3 ans soit 64 cas en moyenne par an contre 25 cas par an au Nigéria [4]. Pour le lupus érythémateux systémique, l'équipe de Fall [5] a rapporté 142 cas en 10 ans au Sénégal soit une moyenne de 14,2 cas par an contre 11 cas par an au Nigéria [6]. Les autres maladies auto-immunes (sclérodermie systémique, myopathies inflammatoires, vascularites à ANCA) sont plus rarement rapportées [7]. Au plan démographique, on note une prédominance féminine pour l'ensemble de ces pathologies : 70,5 à 90,6 % pour la polyarthrite rhumatoïde ; 86,5 % à 95,5 % pour le lupus, 83,7 % à 85,7 % pour la sclérodermie et 61,9 % pour la dermatomyosite [3, 4, 6, 8, 9]. Il s'agit de patients adultes d'âge mûr pour la polyarthrite rhumatoïde (43 à 46,9 ans) et les vascularites, et de patients adultes jeunes pour le lupus (33-34 ans), la sclérodermie et la dermatomyosite. L'étude de la répartition géographique de ces affections met en évidence une certaine disparité selon les pays et parfois dans le même pays. Pour la polyarthrite rhumatoïde par exemple, les données antérieures évoquaient sa rareté voire son absence en milieu rural. Dans un travail récemment mené au Sénégal, 20 à 26 % des malades vivent cependant en zone rurale [3].

Ces affections sont source de handicap socio-économique majeur. Dans une étude réalisée au Sénégal sur la polyarthrite rhumatoïde, 14,8 % des patients étaient contraints à un arrêt de travail temporaire et 34,3 % à un arrêt définitif [10]. À cette incapacité professionnelle s'ajoute une incapacité conjugale dans un contexte bi ou polygamique : dans ce même travail, 24 % des patientes ont eu une co-épouse après le diagnostic de polyarthrite rhumatoïde. En ce qui concerne le taux de mortalité de ces maladies en Afrique subsaharienne, aucune référence spécifique aux maladies auto-immunes n'est disponible dans les registres de l'OMS [11]. Néanmoins, les données hospitalières [12] révèlent les principales causes de décès au cours de ces maladies : les infections (32,7 %) et l'insuffisance rénale (16,4 %). Cette mortalité survient dans un contexte démographique marqué par deux phénomènes [13] : une espérance de vie encore très faible (53 ans en 2009) et une population à forte prédominance rurale (63 %).

Cette population rurale éprouve les plus grandes difficultés d'accès à des soins spécialisés. En raison de la pyramide sanitaire caractéristique des systèmes de santé en Afrique subsaharienne (figure 1), le premier contact du patient avec un médecin généraliste a lieu au niveau du centre de santé et avec un spécialiste au niveau régional ou national, situé souvent à des centaines de kilomètres. Lorsque ce patient arrive malgré tout au niveau de référence (régional, national), il bénéficie de structures aux plateaux techniques souvent vétustes et se heurte au douloureux problème de la prise en charge : à l'inaccessibilité géographique succède l'inaccessibilité financière. À côté de ces structures hospitalières publiques, il y a des acteurs privés, mais il y a également

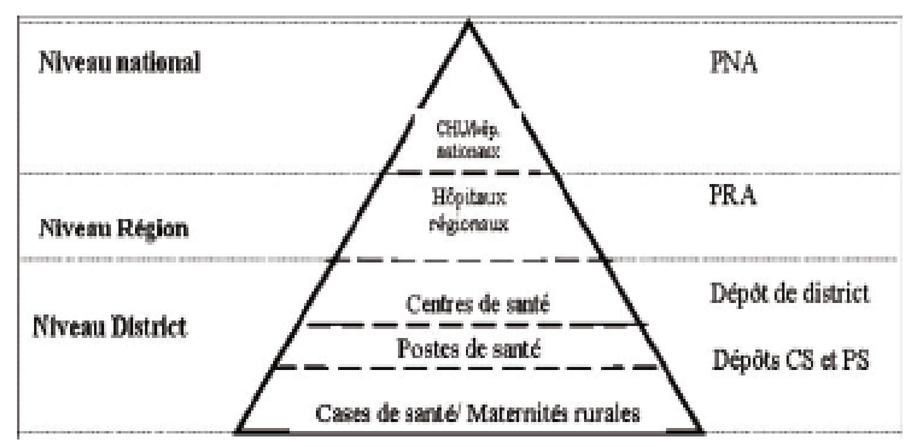


Figure 1.
Pyramide sanitaire en Afrique subsaharienne.

un homme qui propose des soins d'un tout autre style. Il est entouré de ses canaris remplis de décoctions variées et égrène un long chapelet (figure 2) : c'est le tradipraticien.

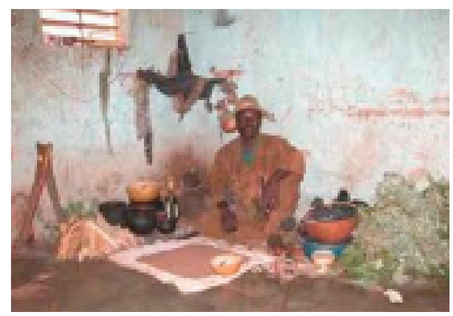


Figure 2.
Tradipraticien.

Celui-ci oppose au personnel médical une concurrence d'autant plus facile que l'accès aux structures sanitaires modernes est difficile et que le nombre de médecins est très insuffisant : un médecin pour environ 5 000 habitants (tableau 1). Face à ces nombreux problèmes, les autorités ont tenté d'apporter une réponse aux grands problèmes de santé publique avec un financement majoritairement basé sur le système public. C'est ainsi que sont nés des programmes verticaux : programme de lutte contre le paludisme, la tuberculose, l'infection à VIH. Il n'y a cependant aucun programme réservé aux maladies auto-immunes. Enfin, parmi ces réponses, il faut citer l'assurance-maladie. Le taux de couverture maladie est souvent très faible : 20 % au Sénégal. C'est en cela que le projet de la Couverture maladie universelle (CMU) qui connaît ses débuts d'application au Sénégal doit être soutenu. Les efforts de développement de mutuelles communautaires doivent être poursuivis pour atteindre le taux de couverture de 80 % obtenu au Rwanda et espérer relever de nombreux défis.

Tableau 1.
Densité en acteurs de santé en Afrique subsaharienne – OMS 2006.

Personnel de santé/Ressource	Mesure	Donnée	Année
Médecins	Densité pour 1 000 habitants	0,22	2002→2004
Personnel infirmier	Densité pour 1 000 habitants	1,3	1997→2004
Sages-femmes	Densité pour 1 000 habitants	0,08	1997→2004
Dentiste	Densité pour 1 000 habitants	0,06	1997→2004
Pharmaciens	Densité pour 1 000 habitants	0,6	2002→2004
Nombres de lits d'hôpitaux	par 10 000 habitants	9	2005

3. Les défis du diagnostic

3.1. Les défis sont d'abord diagnostiques

3.1.1. Une clinique similaire entre les maladies auto-immunes et les maladies infectieuses

Ces défis diagnostiques sont avant tout liés à une clinique fréquemment similaire entre les maladies auto-immunes et les maladies infectieuses. Les exemples illustratifs ne manquent pas. Tel est le cas de cette jeune patiente de 17 ans qui présentait une lésion nummulaire érythémato-squameuse du bras gauche (figure 3) évoluant depuis un mois. Elle a été traitée comme une mycose cutanée. L'absence d'amélioration clinique sous traitement et l'apparition d'une alopécie et d'une lésion infiltrée de la face (figure 4, 5) ont secondairement fait poser le diagnostic de lupus cutané. De même, devant de volumineuses images cavitaires pulmonaires (figure 6) chez un patient tousseur fébrile et présentant souvent une hémoptysie, qui n'évoquerait pas en milieu tropical une tuberculose pulmonaire à la place d'une GPA. Devant un poumon blanc (figure 7) il est également facile d'évoquer chez une jeune femme fébrile, une pleurésie tuberculeuse plutôt qu'une pleurésie lupique.



Figure 3.
Lésion nummulaire érythémato-squameuse du bras gauche.
© JJ Morand



Figure 4.
Lésion infiltrée en relief de la face. © JJ Morand



Figure 5.
Alopécie du cuir chevelu. © JJ Morand



Figure 6.
images cavitaires pulmonaires au scanner.

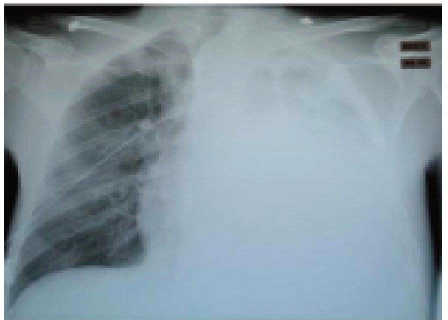


Figure 7.
Image radiographique de "poumon blanc".

3.1.2. Une clinique similaire entre maladies auto-immunes et maladies dermatologiques

Des lésions cutanées érythémateuses diffuses associées à des lésions muqueuses chez une patiente ayant souvent ingéré des décoctions chez le guérisseur feront facilement évoquer une toxidermie avant qu'un examen dermatologique plus affiné ne reconnaisse un lupus avec lésions en vespertilio, érosions buccales et lésions atrophiques dépigmentées au niveau des zones photo exposées (figure 8).



Figure 8.
Lésions cutanées muqueuses de lupus : lésions érythémato-squameuses et atrophiques de la face et des membres + érosions buccales.
© JJ Morand

3.1.3. Des atypies de certaines formes cliniques chez le sujet noir

Dans le lupus érythémateux disséminé, certains auteurs [14] ont signalé une prévalence moindre du rash malaire et de la photosensibilité (47 % chez le sujet noir vs 69 % chez le sujet blanc) ainsi qu'une fréquence élevée du lupus discoïde (38 % vs 19%). Ces mêmes auteurs ont rapporté la fréquence de l'association de lésions vitiligoïdes à des lésions hyperpigmentées donnant parfois un aspect zébré (figure 9). Ils ont également rapporté la fréquence surprenante de l'atteinte du cuir chevelu malgré le port culturel du foulard qui devrait protéger les femmes contre la photo exposition. Les atypies dans le lupus ne concernent pas seulement la peau mais également certains organes nobles tels que le rein : une atteinte rénale fréquente (68 % chez le sujet noir vs 44% chez le sujet caucasien). De plus, la mortalité est plus précoce et le taux de décès trois fois plus élevé chez les femmes noires que chez les blanches [15]. Dans la polyarthrite rhumatoïde, des auteurs ont souligné la fréquence chez le sujet noir de l'altération de l'état général, des atteintes pulmonaires (20 %) et du syndrome de Gougerot-Sjögren secondaire [2]. Ces atypies concernent également la sclérodermie systémique au cours de laquelle le syndrome de Raynaud s'avère rarement révélateur (16 %) en pays chauds [9] et les lésions hyperpigmentées en mouchetures fréquentes [16]. Dans la dermatomyosite, des auteurs sénégalais ont noté la fréquence des lésions cutanées prurigineuses (45 %) et de la pneumopathie interstitielle [8]. Des formes cachectisantes ont été parfois décrites associant une atteinte musculaire, respiratoire et cardiaque sévère, et s'imposant comme une véritable urgence thérapeutique.



Figure 9.
Lupus avec association de lésions vitiligoïdes et de lésions hyperpigmentées.
© JJ Morand

3.1.4. Les limites du diagnostic paraclinique en Afrique subsaharienne

3.1.4.1. Un diagnostic biologique difficile.

Ces difficultés sont d'abord en rapport avec de faibles moyens. Ainsi, devant un lupus, nous sommes par exemple capables de confirmer une anémie hémolytique auto-

immune par un hémogramme et un test de Coombs. Par contre, certains examens indispensables sont externalisés : nous devons ainsi envoyer des prélèvements dans des laboratoires français pour confirmer un lupus par des anticorps anti-DNA natif, à condition que la poche du patient le permette, et avec les longs délais et tous les aléas techniques que cela implique.

Les défis biologiques ne sont pas seulement liés aux faibles moyens mais parfois à des spécificités de certaines pathologies. C'est l'exemple du lupus érythémateux disséminé où l'on a noté une prévalence plus élevée des anticorps anti- RNP chez le noir (49 %) et des anticorps anti-cardiolipine (75 % chez le noir africain vs 36 % chez l'antillais).

Le diagnostic biologique est enfin caractérisé par une faiblesse de la sensibilité et de la spécificité des tests. C'est ainsi que la fréquence très variable des PR séronégatives en Afrique de l'ouest (15 à 80 %) reflète la sensibilité diagnostique très limitée du facteur rhumatoïde recherché par le test au latex [17, 18]. D'autres méthodes permettant d'améliorer ces tests (néphélométrie, ELISA) sont généralement indisponibles. Par ailleurs, la fréquence des auto-anticorps secondaires à des expositions antigéniques microbiennes multiples chez ces populations [18] explique la spécificité relativement réduite de ces tests en milieu tropical (tableau 2).

Tableau 2.
Prévalence (%) des auto-anticorps dans le sérum de patients souffrant d'affections tropicales auto-immunes.

	FR	ANA	ssADN	dsADN	ENA	CDL
Sujets normaux	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Lupus érythèmateux disséminé	25	100	70	50	30	20
Polyarthrite rhumatoïde	70-90	30-40	< 5	< 5	< 10	30
Schistosomiase	21	?	< 5	< 5	< 5	15
Tuberculose	20	40	30	< 5	< 5	43
Lèpre	28	20	23	< 5	< 5	?
Filariose	18	?	< 5	< 5	< 5	40
Paludisme	22	25-38	4-14	< 5	< 5	35

3.1.4.2. Un diagnostic anatomo-pathologique encore difficile

Longtemps réduite à la microscopie optique, l'analyse histologique commence à s'enrichir d'autres méthodes avec par exemple la mise en place récente de l'immunofluorescence et de l'immuno-histochimie à Dakar (Sénégal). Avec de telles techniques il sera désormais possible d'observer par exemple des bandes lupiques à l'immunofluorescence directe sur une biopsie cutanée réalisée en peau saine. Les fréquentes ruptures de réactifs constituent cependant de sérieux écueils.

3.1.4.3. Des explorations fonctionnelles très utiles

Les explorations fonctionnelles respiratoires sont disponibles, nous permettant d'évaluer les cas de pneumopathies interstitielles. De même, l'EMG nous permet de

confirmer les syndromes neurogènes ou myogènes. La scintigraphie est accessible selon la disponibilité des isotopes. La tomographie par émission de positons (PET – scan), trop onéreuse, est inexistante.

3.1.4.4. Un diagnostic morphologique émergent

La capillaroscopie, peu disponible, serait d'ailleurs peu contributive sur peau noire selon certains auteurs pour la mise en évidence de mégacapillaires dans la sclérodermie, la dermatomyosite ou le syndrome de Sharp. Ce sont surtout les techniques d'imagerie médicale qui connaissent un développement heureux. La tomodensitométrie HR nous permet une bonne documentation diagnostique des pneumopathies interstitielles (figure 10) ; l'arrivée de l'IRM a été très utile dans le diagnostic des formes neurologiques centrales de certaines maladies auto-immunes.

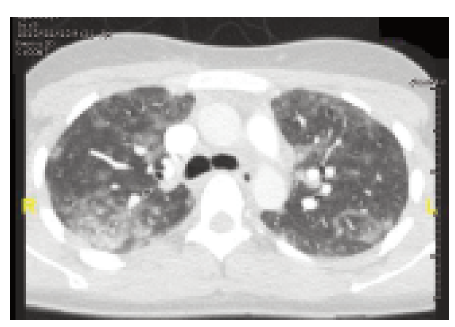


Figure 10.
Images tomodensitométriqurs de «verre dépoli» lors d'une pneumopathie interstitielle sur syndrôme de Gougerot-Sjögren.

4. Les défis thérapeutiques

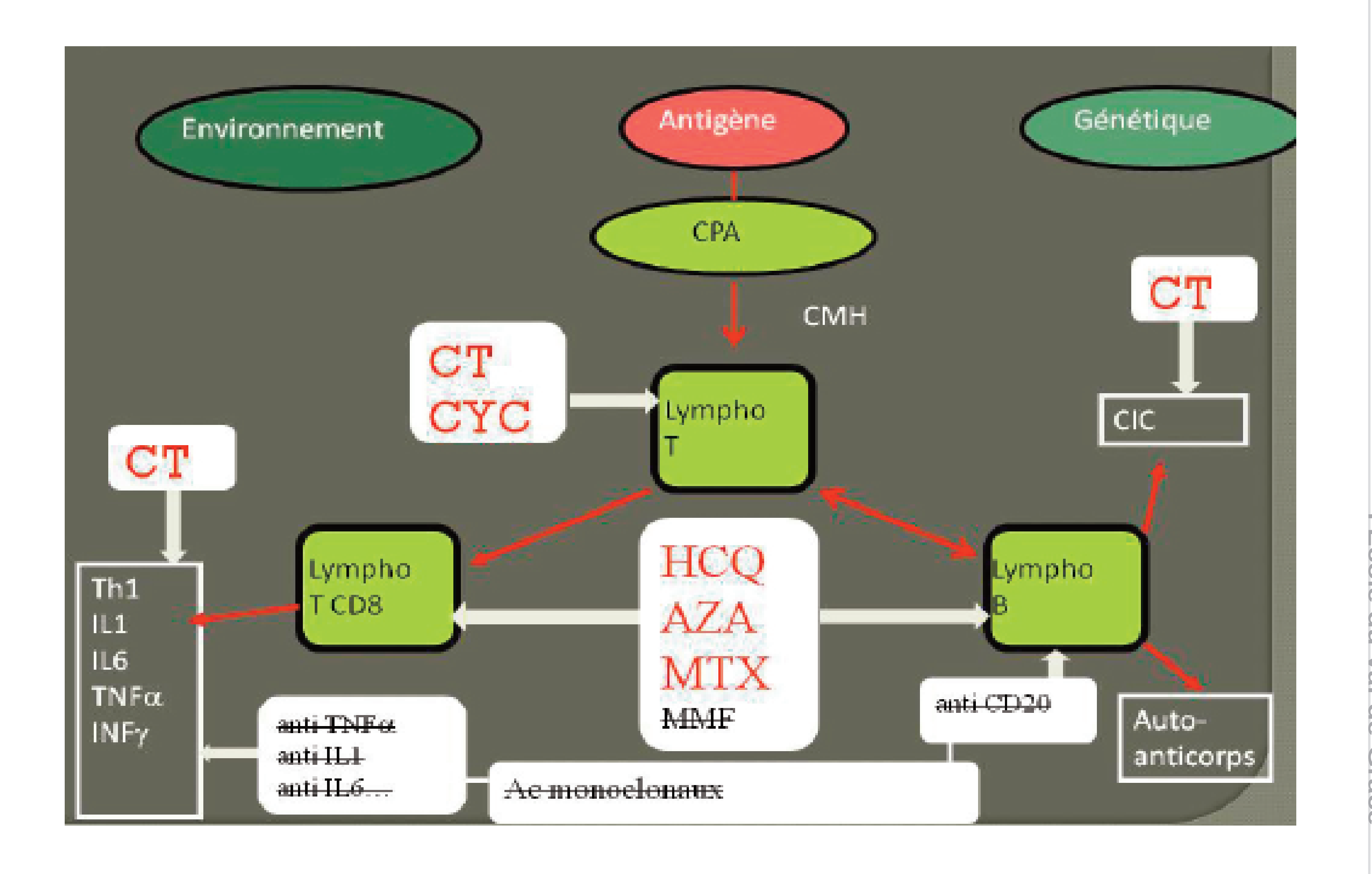
4.1. Une indisponibilité des thérapeutiques ciblées majeures

Au sein de l'arsenal des thérapeutiques ciblées appliquées aux maladies auto-immunes, certaines sont souvent disponibles en Afrique subsaharienne : corticoïdes, cyclophosphamide, hydroxychloroquine, azathioprine, méthotrexate. D'autres produits, en particulier les anticorps monoclonaux sont indisponibles (figure 11). Ils peuvent rarement être commandés à l'extérieur mais leur coût est inaccessible pour nos patients.

4.2. Les risques liés au contexte subsaharien

Le contexte subsaharien est marqué par la présence de nombreuses infections endémiques : tuberculose, infection à VIH, hépatite virale B, anguillulose. Ce contexte justifie la nécessité absolue d'un bilan pré-thérapeutique. Cette évaluation est adaptée aux moyens disponibles : anamnèse (antécédents de tuberculose, hépatite, …), hémogramme (éosinophilie ?), recherche de l'antigène HBs +/- anticorps anti HBc, anticorps anti HBs, +/- sérologie VHC, sérologie VIH, IDR, radiographie thoracique. À la suite de cette évaluation, des mesures préventives sont appliquées : vaccination

Figure 11. Disponibilité des thérapeutiques ciblées en Afrique subsaharienne.



contre l'hépatite B, anti-pneumococcique au cas par cas. Chez le porteur du VHB le traitement préemptif est prescrit à base de lamivudine, ou parfois de ténofovir sur la dotation du Programme National de Lutte contre l'Infection à VIH. La prévention de l'anguillulose maligne fait appel à l'administration d'ivermectine souvent associée à l'albendazole. Pour les cas de tuberculose-infection, l'abstention thérapeutique constitue encore la règle.

4.3. Une surveillance et un suivi difficiles

La surveillance et le suivi des patients traités pour maladie auto-immune posent dans notre contexte des problématiques variées : observance des traitements au long cours, analphabétisme de la population surtout dans les zones rurales, défaut d'accessibilité des structures de soins spécialisés. Dans un travail évaluant l'observance du traitement de fond chez les patients atteints de PR au Sénégal [19] ces aspects sont bien démontrés. Vingt-six pour cent des patients arrêtent le traitement cinq jours par mois pour raison financière, 48 % des rendez-vous de consultations ne sont pas respectés par les patients, et 10 % des patients relèveraient d'une biothérapie à six mois, malheureusement non disponible. Les différents produits prescrits aux patients dans le cadre de ce travail étaient : hydroxychloroquine, méthotrexate, sulfasalazine, prednisone. La mauvaise compliance thérapeutique ainsi que l'anarchie souvent notée dans la prise de ces produits exposent parfois à certaines complications iatrogènes gravissimes. Notre équipe avait rapporté [20] un cas d'actinomycose tumorale abdominale compliquant une corticothérapie intempestive associée à un traitement immunosuppresseur par méthotrexate chez une patiente de 55 ans atteinte d'une PR ancienne, séropositive, érosive et déformante (figure 12).



Figure 12.
Actinomycose tumorale abdominale compliquant un traitement immunosppresseur chez une patiente atteinte de polyarthrite rhumatoïde.

5. Nos propositions

Face à ces nombreux défis, les propositions suivantes nous paraissent judicieuses.

5.1. Au plan épidémiologique

Il faut surtout améliorer la déclaration des maladies auto-immunes systémiques grâce à un registre national, ce qui permettra d'avoir une meilleure connaissance de

l'incidence, la prévalence et des formes cliniques de ces maladies. Cette mesure devra être étendue aux pays de la sous-région.

5.2. Au plan diagnostique

Il faut assurer la formation initiale et continue des praticiens aux maladies auto-immunes dans leurs aspects cliniques et paracliniques. Il faut aussi promouvoir la création de centres de référence des maladies systémiques à l'échelon du CHU. L'arsenal paraclinique doit être amélioré : immunologie, capillaroscopie, poursuite des progrès en anatomo-pathologie.

5.3. Sur le plan thérapeutique

Il faut insister sur le respect des référentiels par les praticiens et promouvoir la culture de l'évaluation des pratiques professionnelles. Le renforcement des mesures préventives est indispensable : traitement des tuberculoses latentes, optimisation de l'évaluation du statut immunologique des patients par rapport au VHB, systématisation de la vaccination anti-pneumococcique. Ces différentes mesures sont indispensables et constituent un préalable à l'accès aux biothérapies qui s'avèrent de plus en plus nécessaires pour compléter l'arsenal thérapeutique.

6. Conclusion

La solution du problème des maladies auto-immunes en Afrique subsaharienne passe par l'amélioration de l'accès aux soins. Le développement en cours des mutuelles communautaires et professionnelles doit être amplifié. Il est également nécessaire de développer les réseaux de soins ville – hôpital dans le domaine des maladies auto-immunes, tout en plaçant le patient au cœur du dispositif de soins grâce à la promotion de l'Éducation thérapeutique du patient (ETP). Enfin, il faut développer les partenariats internationaux, faciliter les conventions et la coopération pour renforcer une authentique culture de recherche clinique.

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de cette leçon des 24 heures (par ordre alphabétique) : Jean-Pierre Algayres, Thierry Carmoi, Gilles Defuentes, Ibrahima Diallo, Ismaela Diédhiou, Laurent Fourcade, Caroline Klotz, Jean-Jacques Morand.

Références bibliograpiques

[1] George A, Ogunbiyi A. Systemic lupus erythematosus: a rarity in West Africa, or a yet to be investigated entity. Lupus 2005;14: 924.

[2] Hubert R. Polyarthrite rhumatoïde en Afrique subsaharienne. Rev Rhum 2002; 69:797-800.
[3] Lepka F, Ndongo S, Tiendrebeogo J, et al. Rheumatoid arthritis in Senegal: a comparison between patients coming from rural and urban areas, in an urban tertiary health care center in Senegal. Clin Rheumatol 2012;31:1617-20.
[4] Adelowo O, Ojo, Oduenyi I, Okwara CC. Rheumatoid arthritis among Nigerians: the first 200 patients from a rheumatology clinic. Clin Rheumatol 2010;29:593-7.
[5] Fall S, Pouye A, Ndiaye FS, et al. Présentation initiale du lupus érythémateux systémique au Sénégal. Médecine d'Afrique Noire 2011;58:156-60.
[6] Adelewo OO, Oguntona SA. Pattern of systemic lupus eythematosus among Nigerians. Clin Rheumatol 2009;28:699-703.
[7] Jeandel P. Épidémiologie des affections rhumatologiques en Afrique subsaharienne. Rev Rhum 2002;69:764-76.
[8] Diallo M, Fall AK, Diallo I, et al. Dermatomyosites et polymyosites : 21 cas au Sénégal. Med Trop 2010;70:166-8.
[9] Dia D, Dieng MT, Sy TN, et al. Sclérodermie systémique : 92 cas à Dakar. Dakar Med 2003;48:82-6.
[10] Ndao AC, Ndongo S, Lepka FK, et al. Retentissement socio-économique et qualité de vie au cours de la polyarthrite rhumatoïde au Sénégal. Médecine d'Afrique Noire 2012;59: 8-9
[11] Global health risks. Mortality and burden of disease attributable to selected major risks. Bulletin of the WHO 2009;87:646.
[12] Wadee S, Tikly M, and Hopley M. Causes and predictors of death in South Africans with systemic lupus eythematosus. Rheumatology 2007;46: 1487-91.
[13] Rapport PNUD 2011.
[14] Meyer O. Lupus systémique chez les non- Caucasiens. Rev Rhum 2002;69: 801-8.
[15] Freedman I. Familial clustering of end-stage renal disease in blacks with lupus nephritis. Am J KidneyDis 2007;29:729-32
[16] Tager RE. Clinical and laboratory manifestatios of systemic sclerosis n Black South Africans. Rheumatology 1999;38:397-400.
[17] Greenwood BM, Herrick EM. Low incidence of rheumatoid factor and autoantibodies in Nigerian patients with rheumatoid arthritis. Bret Med J 1970; 1: 71-73.
[18] Adebajo AO. Immunologie et immunogénétique des affections rhumatologiques en zone tropicale. Rev Rhum 2002;69:777-90
[19] Ndongo S, Pouye A, Lepka F. Problématique du traitement de fond des rhumatismes inflammatoires en Afrique subsaharienne : évolution à 6 mois de 205 patients sénégalais atteints de polyarthrite rhumatoïde. Med Sante Trop 2012; 22:385-9.
[20] Gning SB, Ndiaye A, Diallo I, Ogougbémy M, Diouf MB, Jauréguiberry S, Mbaye PS. Actinomycose abdominale tumorale. Une observation au Sénégal. Med Trop 2011;71: 499-500.

Chaire de psychiatrie et psychologie clinique appliquées aux armées

Médecine aéronautique

Psychologie individuelle et collective des situations d'exposition à un stress prolongé : projection sur les enjeux des vols spatiaux de longue durée

Marie-Dominique Colas

1. Introduction

« Tout ce que nous recherchons, c'est un groupe de surhommes ordinaires plutôt que d'hommes extraordinaires ». Ce sont par ces mots que furent accueillis les candidats à l'aventure spatiale des premières missions Mercury en 1959.

Quelles sont les raisons pouvant conduire les hommes à vouloir se confronter à leurs limites, à l'impossible sous toutes ses formes ? Nous pouvons résolument nous poser la question, au vu des efforts incessants consacrés par l'humanité pour se dépasser, aller plus vite, plus haut, aujourd'hui plus loin. Comment rendre possible les vols spatiaux de longue durée, c'est-à-dire de plus de trois mois, en prenant en compte la psychologie individuelle et collective ?

En tant que psychiatre militaire, nous pouvons nous appuyer sur nos connaissances des situations opérationnelles confrontant des individus à un stress prolongé, à des contraintes cumulatives et durables comme la projection sur les bases avancées en Afghanistan, l'embarquement sur les sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE), les actions aériennes continues lors de l'opération Harmattan ou la rigueur de l'hivernage polaire, par exemple. Notons d'emblée que l'idéal et le sens donnés à la mission spatiale ne sont pas ceux habituellement rencontrés lors des engagements militaires. Il n'est nul besoin de rappeler l'importance qu'ont pu revêtir les Grandes Découvertes à l'échelle des États, ces moments de bascule ou de transition dans les mutations des sociétés. Cette aventure spatiale comporte une dimension prométhéenne. Intrinsèquement, elle est une transgression, une entorse à la quiétude de l'ordre établi. Nous devons nécessairement considérer tant la position d'exception occupée par les précurseurs, que la dimension d'acte générateur de conséquences bien souvent imprévues.

C'est en ayant cette double lecture à l'esprit que nous interrogerons, en partant des expériences antérieures, les contraintes physiologiques et psychologiques rencontrées dans l'espace pour aborder la problématique clinique et les contre-mesures à proposer dans la perspective d'un futur voyage vers Mars.

2. Histoire de la conquête de l'espace [1]

La conquête spatiale et plus particulièrement les vols spatiaux habités sont nés

dans un contexte politique de guerre froide. Cette course, initialement menée en tête par l’ex-URSS, a conduit les États-Unis d’Amérique à lancer le programme Apollo qui a permis de planter la bannière étoilée sur le sol lunaire le 20 juillet 1969. Chaque étape a apporté son lot de questions. Il a d’abord fallu sélectionner les candidats. Les modèles animaux n’étant pas adaptés pour une approche fine du psychisme humain, les premières sélections se sont faites parmi la population paraissant la plus proche de ce qui était attendu d’un astronaute (pour les américains) ou cosmonaute (pour les russes) : la population des pilotes de chasse.

Malgré un entrainement poussé et un suivi médical extrêmement rigoureux, le premier vol de Youri Gagarine a été automatisé, manifestant d’emblée la suspicion à l’égard du « facteur humain ». Les vols américains Gemini ont mis à jour les tensions entre l’équipage et l’équipe technique au sol qui ne se représente pas les conditions de vie rudimentaires à bord du vaisseau. Les missions Apollo ont révélé l’exaltation quasi-mystique qui peut gagner un astronaute lorsque, premier humain à observer la face cachée de la Lune, il se met à réciter des versets de la Bible. Les douze hommes qui ont marché sur la Lune semblent avoir tous été profondément et durablement marqués par cette expérience. L’un d’eux, Buzz Aldrin, a même développé des troubles psychiques caractérisés. James Irwin a fondé une organisation chrétienne baptisée « High Flight », expliquant comment son séjour dans l'espace lui avait fait sentir encore plus vivement qu'auparavant la présence de Dieu. Quant aux astronautes de la mission Apollo XIII, on sait combien leur expédition dramatique les a confrontés à la menace vitale.

Avec les premières stations orbitales habitées (notamment Saliout en 1971 et MIR signifiant en russe « paix et monde »), ont lieu les essais de sorties extra-véhiculaires et l’expérience de vols de durée de plus en plus longue. La noirceur profonde et le vide infini de l’espace intersidéral suscitent une angoisse intense au moment de s’extraire de la station [2]. La constitution d’équipages multinationaux et donc multiculturels impose des aménagements dans la formation et l’entraînement avant le vol. Enfin, avec les vols de très longue durée (plus de 6 mois), les contraintes physiologiques et psychologiques contraignent à une coopération étroite entre ingénieurs, astronautes et médecins pour concevoir des contre-mesures. En France, dans la suite logique des programmes menés par les laboratoires de recherche de médecine aéronautique du Service de santé des armées, le professeur Carré est nommé en 1975 au conseil médical de l’agence spatiale européenne. Il deviendra, après la sélection des deux premiers spationautes français, le médecin d’équipage. Cette sélection et les suivantes seront organisées au Centre principal d’expertise médicale du personnel navigant (CPEMPN) pour la partie médicale, au Centre médical de psychologie clinique de l’armée de l’Air (CMPCAA) pour la psychologie clinique, au Centre d’études et de recherches psychologiques air (CERP’Air) pour les tests psychotechniques et au Laboratoire de médecine aérospatiale (LAMAS) pour les explorations physiologiques [1]. On mesure donc bien que les aspects psychologiques ont d’emblée été pris en compte dans les

processus de sélection comme de suivi périodique des spationautes. Désormais, ils sont assurés par l'agence spatiale européenne aux Pays-Bas qui sollicite en fonction des besoins les experts des états membres. C'est ainsi que le Service médical de psychologie clinique appliquée à l'aéronautique (SMPCAA) a participé, en septembre 1991 à l'expertise psychiatrique des astronautes européens [3].

3. Vols de longue durée et contraintes physiologiques

3.1. Aspect technique d'un vol vers Mars

Mars est la planète la plus proche de la Terre, pourtant à une distance minimale de 56 millions de kilomètres quand l'alignement planétaire est optimal. Ces distances engendreront des délais de communication entre la Terre et le vaisseau spatial de 20 minutes. La NASA a récemment estimé la durée du trajet aller à 224 jours, puis un séjour sur place de 458 jours et enfin un retour en 237 jours, soit une durée totale de voyage supérieure à deux années et demi. La place dans l'aéronef ne permettra pas d'envisager un équipage de plus de 4 à 6 spationautes. Les premières images de la sonde Curiosity posée sur le sol martien en août 2012 révèlent des conditions extrêmes : un sol désolé, désertique, avec une température évoluant entre –80°C et –5°C, une atmosphère chargée en gaz carbonique à plus de 95 %, peu protectrice contre les radiations cosmiques. Cette planète se rapproche néanmoins de la Terre par sa gravité, seulement trois fois moindre, et par la présence d'eau sous forme de glace au niveau des pôles.

3.2 Les contraintes physiologiques [4, 5]

Les rayonnements cosmiques, constants et d'intensité non négligeable, largement majorés par les imprévisibles éruptions solaires, s'avèrent un des problèmes majeurs. La protection partielle offerte par le blindage de la cabine et la durée d'un tel voyage font redouter l'expression clinique des expositions prolongées aux faibles doses d'irradiation. La microgravité liée au vide sidéral entraîne chez un spationaute sur deux le mal de l'espace en lien avec un conflit intravestibulaire. Cette cinétose particulière disparait habituellement en deux à trois jours. Le syndrome de déconditionnement cardiovasculaire associe une redistribution des liquides de l'organisme à des mécanismes adaptatifs hormonaux et hydro-électrolytiques, entraînant un nouvel équilibre en quatre à six semaines. Des études démontrent les effets du vol spatial sur le métabolisme osseux avec une déminéralisation accélérée et partiellement réversible sur Terre. Il s'y associe une fonte musculaire prédominant sur les muscles posturaux et extenseurs, le tout engendrant une modification de la statique vertébrale. Enfin, la microgravité semble affaiblir le système immunitaire, favorisant les infections, en particulier dans un milieu clos. Les accélérations (+3 à +4 Gx) liées à la phase de

décollage sont généralement bien supportées. Il demeure pourtant une inconnue quant à leur tolérance au départ de Mars.

Un engin spatial est avant tout une cabine étanche dont la technologie très complexe est censée reproduire une atmosphère de type terrestre. Dès lors, tout dysfonctionnement technique, dont la probabilité de survenue augmente avec la durée de vol et le nombre d'impacts au poser sur une planète, expose à des accidents potentiellement graves. Citons ainsi le dysbarisme, la maladie de décompression et le redoutable ébullisme en cas d'anomalies de régulation de la pression. Citons encore les modifications de la concentration des gaz potentiellement source d'hypo/hyperoxie, d'hypo/hypercapnie. Les conditions thermo-hygrométriques à bord peuvent aussi brutalement varier et l'atmosphère peut être viciée par des polluants qui ne sont plus filtrés.

Enfin, la question de l'autosuffisance en eau, aliments lyophilisés et oxygène pour un voyage aussi long est clairement posée. Les solutions manquent malgré les procédés régénératifs jusqu'alors imaginés. L'hygiène personnelle, comprenant toilette et recueil des *excreta*, nécessite des artifices technologiques palliant la microgravité.

4. Les contraintes psychologiques

Le voyage spatial de longue durée s'inscrit comme expérience de l'extrême [2]. L'individu est placé dans des contextes à potentiel émotionnel intense ou réclamant de lui une réponse adaptative, un ajustement, qu'il vit comme dépassant ses moyens [6]. Si ce type de contexte fait souvent référence à des menaces internes ou externes, d'autres approches le renvoient à une atteinte au « bien-être ». Cette conception apparaît particulièrement pertinente dans le cadre des vols spatiaux de longue durée où les « stresseurs » que sont par exemple le confinement, la promiscuité, la séparation des figures d'attachement, l'ennui se cumulent dans une continuité ne laissant place à aucun échappement [2, 7, 8].

Les contraintes psychologiques sont protéiformes en raison de dangers multiples : impossibilité de revenir sur sa trajectoire avant d'avoir atteint le terme de son voyage, menace d'un incident technique faisant peser un risque sur la survie de l'équipage, défaillance médicale sans possibilité de secours ou de rapatriement. Le vécu subjectif de ce type de voyage est celui d'une angoissante immobilité dans une immensité obscure, d'une dilatation du temps et de l'arrivée dans un univers hostile sans possibilité d'accueil. Les sorties extravéhiculaires ou hors de la station majorent les risques et renvoient le spationaute à l'infinie fragilité de son être [2].

La charge de travail est décrite dans les missions de courte durée comme intense et concentrée. Durant les vols de longue durée, le problème prévalent est lié au manque d'activité ou à la monotonie découlant d'occupations répétitives dont la finalité est perdue de vue. Le confinement y est certainement l'agent stresseur le plus usant [8]. Valéry Rioumine, le premier occupant du vaisseau soviétique Soyouz en 1975, a bien

résumé le cauchemar de la promiscuité : « Toutes les conditions nécessaires pour commettre un meurtre sont réunies dès lors que sont enfermés deux hommes dans une cabine de 5 mètres sur 6 et qu'on les laisse vivre ensemble pendant dix mois ». Un autre effet du confinement est la diminution du niveau antérieur d'interactions sociales. La sphère relationnelle se limite au microcosme de l'équipage. L'intimité est sommaire voire quasi inexistante dans l'espace confiné de la capsule [7]. Tout se passe sous le regard des autres. Il est bien difficile de prévoir quelle sera l'évolution des relations entre les spationautes au cours de la mission [5]. Les clivages, la constitution d'alliances, l'organisation en sous-groupes, les phénomènes de désignation de bouc émissaire, de discrédit du chef, trouvent dans ces voyages de longue durée un terreau fertile pour croître. La connaissance plus intime de l'autre rend insupportable la confrontation quotidienne, heure par heure, à ses habitudes et travers. L'entrave à la vie pulsionnelle domine [7]. Dans une capsule où l'espace est dévolu aux instruments techniques, les lieux dédiés pour le repos ou pour la détente sont souvent improvisés, ne facilitant pas les activités de délassement ou de divertissement.

Paradoxalement, un ressenti d'isolement pèse considérablement. Privation sociale et frustration affective résultent de l'éloignement des proches. La vie ordinaire sur Terre et la routine qui ancre l'individu dans une trame relationnelle viennent à manquer. Plusieurs rôles sociaux non liés à la compétence professionnelle comme être père, ami, voisin deviennent une réalité de plus en plus lointaine. Le spationaute en vient à être cantonné au seul rôle de sa fonction à bord. La difficulté à maintenir des contacts, du fait des délais de transmission, fait le lit de dérives imaginaires autour de scénarios catastrophes, de survenue d'un évènement tu par l'entourage familial ou les opérateurs de la base. Le crédit apporté à l'information qui est distillée au compte-goutte est faible. De son côté, le spationaute taira son propre mal-être.

La perception du temps qui passe peut subir des distorsions. Les repères temporels deviennent de plus en plus schématiques : hier ou demain, X^{e} jour de mission, etc. L'idéal mis en avant dès le processus de sélection risque de se fissurer devant les conséquences les plus visibles du départ : renoncement au conjoint, à la famille, confrontation à un univers inhospitalier et inhumain, inconfort permanent, contraintes physiologiques épuisantes.

5. Problématiques cliniques

5.1. Les aléas de l'adaptation

Les problématiques cliniques des situations d'exposition à un stress prolongé sont centrées sur la dynamique et les aléas de l'adaptation aux contraintes que nous venons de développer.

L'adaptation n'est pas simplement un processus d'accoutumance à un milieu

potentiellement hostile pour le corps et l'esprit. Elle définit l'instabilité en cours d'équilibration permanente d'un individu interagissant avec son environnement et ses semblables. Elle s'établit selon les instances les plus profondes de la structuration de sa personnalité, avec ses défenses et ses motivations. Le stress ou « syndrome général d'adaptation » décrit par Selye se décline chronologiquement en une réaction d'alarme bio-psycho-comportementale, suivie des phases de résistance et d'épuisement psycho-physiologique [9]. Toute personne a un potentiel de résistance défini et limité. Si la contrainte cumulée est trop intense et que sa durée va au-delà de ce qu'il peut supporter, ses capacités d'adaptation sont débordées. Devenue particulièrement vulnérable, elle peut présenter des perturbations psychologiques voire des dysfonctionnements psycho-somatiques : un « état de stress dépassé » [10].

5.2. Des perturbations instinctuelles et cognitives

Au cours des vols spatiaux, il a été observé une perturbation du sommeil qui s'est avérée d'origine multifactorielle. L'environnement postural, la promiscuité et le bruit ne se prêtent pas au repos. Le rythme nycthéméral physiologique s'efface avec l'illumination stellaire permanente. De plus, les responsabilités à bord rendent nécessaire le travail alterné en équipe et entretiennent un état de vigilance constante pouvant altérer la qualité du sommeil.

Des troubles cognitifs ont été décrits au cours des hivernages lors de séjours continus d'un an en zone arctique ou antarctique [11]. Les six mois de nuit polaire provoquent des troubles chrono-biologiques. Les syndromes observés peuvent être résumés sous les deux termes anglo-saxons de « *long eye* » et « *big eye* » [7] :

- *long eye* désigne un état de conscience modifiée : l'individu a le regard perdu, ne fixant rien pendant de longues minutes. Lorsqu'il est stimulé et se réveille de sa torpeur, il est incapable de se souvenir des contenus psychiques de ce moment d'absence. En situation de vol spatial, des états homologues ont été décrits sous le vocable de « viscosité psychique » : ralentissement inhabituel de la pensée qui fait que le spationaute met un temps deux à dix fois plus long pour exécuter une tâche qui ne lui prend habituellement que quelques minutes et qu'il maîtrise parfaitement au sol lors des entraînements ;
- *big eye* caractérise l'état de celui qui ne parvient pas à dormir. Il s'agit d'une insomnie franche non corrélée à un état anxieux ou à un état dépressif. Sont ici incriminés les dérèglements chrono-biologiques mis en lien avec la situation de privation des repères habituels.

5.3. L'épuisement et l'usure

Des phénomènes d'usure psychologique ont été décrits dès les années 50 en situation d'hivernage sous la dénomination de « syndrome mental de l'hivernage ou SMH » [6, 7]. Ce syndrome est organisé en trois temps calqués sur les trois phases du

syndrome d'adaptation décrit par Selye [9] :

- une réaction d'alarme au début de l'hivernage où l'individu présente des velléités de fuite ; il doute du bien fondé de son hivernage ;
- une réaction de résistance où il essaie de se protéger en contestant ou en s'opposant au groupe. Les manifestations seront le plus souvent agressives, émaillées de courtes périodes dépressives ;
- un stade d'épuisement, constat de l'impuissance à vaincre ce qui l'entoure et s'exprimant par une passivité, une indifférence et un repli sur soi.

5.4. Des perturbations de l'humeur

Elles sont susceptibles d'affecter de façon séquentielle ou persistante les spationautes. En début de vol, il est courant de constater une excitation psychique bien compréhensible suivie, au bout de quelques jours, d'une adaptation à l'environnement. Dans un contexte de perturbation des rythmes biologiques lors des vols de longue durée, on peut observer un fléchissement de l'humeur accompagné d'irritabilité, de fatigue, de troubles de la concentration et de la mémoire, ainsi que d'une perturbation du rythme veille/sommeil. Ces perturbations sont caractérisées par l'absence de tristesse, ce qui les distingue des états dépressifs majeurs. À l'inverse, une exaltation de l'humeur peut se produire dans des situations prolongées de privation de sommeil et de lumière. Il faut être attentif à ces troubles fréquemment banalisés par les équipages.

5.5. Les confrontations à un risque psycho-traumatique

Il convient de ne pas méconnaître l'occurrence d'un stress aigu face à un incident technique (collision avec des fragments de débris d'engins spatiaux, erreur de pilotage, feu à bord ou incident médical, etc.) et les manifestations anxieuses réactionnelles, notamment lors des sorties extravéhiculaires. Compte tenu de la durée d'un vol vers Mars, il n'est pas exclu que suite à un stress aigu se développe en cours de mission un état de stress post-traumatique.

5.6. Les réactions collectives

Le groupe est le lieu de projections affectives très puissantes. Le professeur Missenard, l'un des pionniers de la psychologie aéronautique, a décrit ce qui lie l'individu, l'aviateur en l'occurrence, au collectif. Les idéaux communs ayant fonction identificatoire sont constitués par des actions – le vol –, des valeurs – le courage et le sacrifice –, les chefs et les héros qui les incarnent ou les ont incarnés [12]. Fort de ce contrat narcissique, de sa motivation professionnelle, l'individu doit pouvoir en retour se sentir protégé, soutenu par la base arrière, par la Terre. Les témoignages recueillis auprès de spationautes révèlent que ce lien est ténu et menace parfois de rompre.

L'étayage lâche et la dimension caractérielle occupent le devant de la scène. Les tensions dans les relations interpersonnelles en sont les conséquences les plus évidentes. Les rapports hiérarchiques qui structurent habituellement le groupe peuvent s'altérer sous la forme de projections passionnelles marquées par la jalousie, la rivalité, la méfiance et donner lieu à des comportements ouvertement agressifs et à une contestation de la figure d'autorité [7]. Il peut également s'instaurer une distorsion quant à la perception de la réalité entre le commandement sur Terre et les spationautes, générant chez ces derniers le sentiment d'une perte de confiance, ainsi qu'un vécu d'impuissance ou d'instrumentalisation.

L'enjeu crucial est de créer un esprit de cohésion entre personnes de différentes nationalités et aux compétences techniques parfois éloignées : ingénieurs, pilotes, scientifiques, médecins, etc. Les valeurs fondamentales sont les capacités de communication, la confiance mutuelle et le *leadership* du responsable de la mission [7, 13]. L'équilibre est fragile. Il suffit d'un accident ou d'une défaillance technique pour que s'installent des attitudes de suspicion et de remise en cause des compétences de l'autre, comme cela a été observé transitoirement lors du vol d'Apollo XIII vers la Lune, interrompu à la suite de l'explosion d'un réservoir d'oxygène du module de service. Un spationaute nous a rapporté une anecdote illustrant la radicalisation des relations autour de scènes de la vie quotidienne. Un commandant de bord très rigide, méticuleux, soucieux à l'excès du bon ordre découvre un hémisphère de jus d'orange collé au hublot de la station. Furieux, il impose à son équipage de prendre les repas non plus devant les hublots face au spectacle de la Terre, mais dans le tunnel borgne, provoquant donc au sein de son équipage un état de frustration et de colère qui perdurera bien au-delà du retour sur terre.

5.7. La pathologie du retour

Le retour à la « vie normale » après la fin d'une expérience partagée ne va pas de soi [11]. La principale difficulté est celle des retrouvailles du couple. Des modifications du caractère peuvent s'observer, l'individu étant confronté à de nouvelles attentes sociales ou familiales. Par ailleurs, certains spationautes témoignent d'un intérêt marqué pour vivre en harmonie avec la nature, du sentiment d'appartenir désormais à la communauté humaine au-delà de toute frontière, voire de l'apparition d'une pensée mystique qui peut développer ou renforcer des croyances préexistantes. Face aux bouleversements du lien à autrui et à soi-même, se déclenchent parfois, mais rarement, des troubles psychiques caractérisés. Enfin, reprenant l'histoire de Buzz Aldrin, une dépression peut survenir tant l'expérience émotionnelle vécue a modifié les repères qui avaient jusque-là construit et stabilisé le sujet.

6. Les contre-mesures : vers une maîtrise des risques

Nous venons de décliner tout un ensemble de manifestations cliniques et

comportementales susceptibles d'être observées en cours ou à l'issue d'un vol de longue durée. Quelles contre-mesures sont envisageables afin de réduire les risques liés à ce type de vol ?

6.1. La sélection : un processus dynamique et continu

Une idée communément répandue voudrait qu'une bonne sélection des candidats puisse éviter la survenue de difficultés lors des vols spatiaux prolongés. Ce point de vue, plein de bon sens, se montre toutefois très insuffisant. Comme nous allons le décrire, la sélection des candidats n'est qu'un des aspects des contre-mesures à prendre avant, pendant et après le vol.

Tout d'abord, la sélection n'est pas un acte isolé, unique et « évictif ». Il s'agit d'un processus dynamique, continu, individuel et de groupe, inséré dans un ensemble évolutif prenant en compte le retour d'expérience. Cet ensemble comprend, en amont, le recrutement dans une population cible et, en aval, la formation et le suivi continu des personnels recrutés et des équipages.

La population cible dépend des profils recherchés comme, par exemple, les ingénieurs de bord en charge de la gestion de l'équipage et du vol (généralement recrutés parmi les pilotes de chasse ou d'essai) ou les expérimentateurs responsables du programme scientifique réalisé en microgravité (recrutés en fonction de leur domaine d'expertise). La sélection des individus se fait d'abord sur dossier. Ensuite, les postulants doivent satisfaire à des normes médicales, physiques et mentales, spécifiées par les agences spatiales. Ils doivent aussi satisfaire à des épreuves médico-physiologiques (citons les épreuves du tabouret tournant, de la centrifugeuse, du caisson d'altitude et de la table basculante ou *tilt-test*). Cette sélection est complétée par des épreuves psychotechniques individuelles et de groupe [1].

Dans ce processus, les exigences psychologiques ont pris une part croissante avec l'évolution des missions spatiales. Initialement, lors les sélections réalisées en France, l'accent a été mis sur les aptitudes requises. Puis, l'expérience nous a enseigné que la condition de spationaute dépassait très largement la seule capacité à réaliser un vol spatial. L'évaluation de l'aptitude psychique s'est donc donnée plusieurs objectifs : éliminer les candidats ne répondant pas aux normes médicales, évaluer avec le candidat la manière dont il peut s'adapter aux exigences de l'entrainement et aux profondes modifications du style de vie qu'impose la condition de spationaute, et enfin, s'assurer que cette dynamique de la motivation s'intègre harmonieusement à la personnalité [3].

Les candidats déclarés médicalement aptes sont ainsi sélectionnés en fonction de la probabilité de leur adaptation aux vols spatiaux et surtout à tout ce qu'implique leur engagement. L'entraînement et la préparation à une mission demandent toujours plusieurs années au cours desquelles les futurs spationautes sont régulièrement menés à leurs limites, contrôlés, évalués, surveillés et mis en situation en équipage sans savoir

si celui-ci sera remanié à la dernière minute ou relégué en position de doublure.

Lorsqu'enfin l'équipage est retenu pour un vol, celui-ci est précédé d'un temps de mise à l'isolement à des fins sanitaires et opérationnelles. Ce temps a valeur de sas psychologique et à ce titre est une contre-mesure.

6.2. Une nécessaire préparation de tous les acteurs

Un vol n'est jamais certain. Jusqu'à la dernière seconde, il peut être annulé. L'équipage attend la mise à feu assis sur une poudrière. Que l'on se souvienne ici de la disparition de la navette Challenger. La mise en orbite est rapide. Elle ne prend que 9 minutes. Mais dès leur arrivée en environnement microgravitaire, les spationautes auront non seulement à gérer leur vol, mais aussi à lutter contre toutes les souffrances qu'ils vont ressentir à des degrés divers, qu'il s'agisse du mal de l'espace, des céphalées ou des lombalgies, pour ne citer que ces exemples.

Les contre-mesures psychologiques doivent s'adresser non seulement aux spationautes en tant qu'individu, à l'équipage en tant que groupe, à l'aménagement de leur environnement, mais aussi aux interactions avec les équipes techniques de suivi sur Terre et surtout au soutien des familles. Dans ce domaine la problématique est assez proche de celle des familles de militaires projetés en opération de longue durée, qu'il s'agisse des opérations extérieures, des missions en terres australes ou des SNLE. Tous les acteurs des champs médicaux, psychologiques et sociaux sont ici sollicités. Des temps de communication sont dédiés aux familles. Les contacts réguliers avec le médecin de l'équipage, l'ensemble des échanges organisés avec les médias, les équipes scientifiques contribuent au maintien du sentiment d'appartenance sociale de ces personnes en situation d'isolement. Toute une organisation du travail, des rythmes veille-sommeil et de la station orbitale, est mise en œuvre pour que les spationautes conservent, dans toute la mesure du possible, les repères qui font le quotidien d'un terrien.

6.3. Projection sur les enjeux d'un futur vol vers Mars [5, 15]

Ce voyage serait totalement différent des vols circumterrestres en orbite basse : un aller de 8 mois, aucune structure d'accueil sur Mars pour accompagner le reconditionnement à l'environnement gravitaire, un séjour de plus d'un an sur une planète hostile, sans vie, une coupure de toute humanité, puis un second vol spatial de très longue durée pour revenir sur Terre.

À ce jour aucun être humain n'a l'expérience d'une immobilité en environnement microgravitaire pendant plusieurs mois avec en point de mire, dans le noir absolu, notre Terre devenue punctiforme alors qu'on sait l'émerveillement inépuisable que représente pour les spationautes la contemplation de notre planète si majestueuse, si belle et d'apparence si fragile. Dans ce vol de longue durée les spationautes seraient

durablement « désafférentés » dans un environnement de gravité zéro. De plus, ils perdraient ce contact visuel affectif très fort qui les relie à notre planète. Par ailleurs, toutes les télécommunications par lesquelles le soutien psychologique est habituellement assuré seraient fortement perturbées voire interrompues.

Dès lors, que peut-on raisonnablement concevoir comme modèle pour anticiper les difficultés psychologiques susceptibles de survenir et pour tester des contre-mesures ?

Sur Terre, la reconstitution de la microgravité de manière durable est impossible (seul l'Airbus A300 « Zéro G » permet d'expérimenter sur quelques minutes le *free floating* lors de vols paraboliques) [1]. On ne peut donc prendre pour modèle que des environnements dits « analogues » (comme les bases polaires) ou concevoir des expérimentations comme celle mise en place par l'Institut des problèmes bio-médicaux de l'Académie des sciences de Russie avec la participation des agences spatiales européenne et russe : l'expérimentation « Mars 500 » [15]. L'objectif était de déterminer notamment les effets psychologiques individuels et collectifs du confinement de six personnes sur une longue période et dans un environnement restreint. Un des participants a pu nous confier qu'une de ses premières motivations pour participer à cette aventure était « le désir de se dépasser, d'aller vers l'exceptionnel ». D'après son témoignage, la contrainte principale durant la période de confinement a été la perturbation du rythme veille-sommeil avec ses conséquences : irritabilité, tendance au retrait, difficulté à s'organiser. L'éloignement affectif et la crainte de difficultés d'adaptation au sein de la famille sont également soulignés comme des facteurs de stress. Cette expérience confirme toute l'importance qu'il convient d'accorder à l'accompagnement psychologique des spationautes et de leurs proches pendant et après le vol. Le médecin d'équipage a un rôle capital. Il est le garant du respect de l'éthique médicale que certains pourraient oublier dans un domaine aussi enthousiasmant.

Par ailleurs, la NASA préconise un programme de préparation de type « facteur humain » avec des mesures de renforcement (coaching, exacerbation des facultés sensorielles par la réalité virtuelle), de prévention (diminution des risques d'erreur technique) et de facilitation (communication avec les familles, gestion des conflits au sein du groupe) dans son programme intitulé *Risk of Adverse Behavioral Conditions and Psychiatric Disorders* [16]. Préparer le quotidien dans ce huis clos impose de prévoir des activités sociales et physiques ayant une fonction exutoire fédératrice (jeux de société, visionnage de films, possibilité de jouer d'un instrument de musique, célébration des moments forts…). La féminisation des équipages impliquant des groupes mixtes semble avoir un effet positif en termes de dynamique de groupe. Enfin, une solution consisterait à lancer deux vaisseaux habités par deux équipages différents afin de se porter mutuellement assistance [7].

7. Conclusion : enjeux éthiques

Le lancement d'une expédition habitée vers la planète Mars est la conquête d'un horizon inexploré, d'une *extra-terra incognita* pour laquelle le savoir est à réinventer.

L'imprévu et l'inattendu seront immanquablement au rendez-vous quelles que soient les planifications en amont et les études des cas non-conformes. C'est assurément à ce point de disjonction que nous devons situer le facteur humain comme élément sensible et susceptible de vulnérabilité, mais seul à même de soutenir la nécessaire improvisation, voire création, sans lesquelles un tel projet ne pourra être mené à bien.

Comment, dès lors, nous figurer la dimension de choix que comporte l'engagement singulier dans une telle aventure ? Comment estimer la portée potentiellement sacrificielle, sur le modèle de l'exploit héroïque, qu'implique la mise en jeu de sa propre existence par la participation à une aventure humaine inédite dont le déroulement n'est pas assuré et le retour pas davantage garanti ? Résolument, la portée éthique de cette décision s'affirme. Il ne s'agit probablement pas d'en rester à la simple validation de l'affirmation de la demande du spationaute, mais davantage d'apprécier ce qui peut la sous-tendre. La distinction des intérêts individuels et collectifs peut apparaitre ténue dans une entreprise engageant des individus et des nations. C'est à ce point, où se rejoignent l'individuel et le collectif, que nous pourrons peut-être assister à la mise en œuvre tragique de la prévalence de l'un sur l'autre. Ainsi, en 2018, fenêtre de lancement propice pour l'exploration martienne, la République Populaire de Chine envisagerait d'envoyer un taïkonaute sur la planète rouge. Considérant la faisabilité technique actuelle, ce voyage serait sans retour possible pour son passager, un fait inédit dans l'exploration humaine de l'espace. Mépris du danger, déni du risque létal, obéissance à un idéal ou à une idéologie, folie héroïque d'être le premier pour le seul impératif de conquête ne sont que quelques uns des comportements et des motivations auxquels nous pourrions être confrontés dans un avenir proche.

En miroir de cette anticipation de l'objectif, nous pouvons reformuler cette même question pour le moment du retour sur terre, si un jour il devient techniquement envisageable. Que deviendront ces héros de l'humanité au décours d'une telle aventure hors-norme, au-delà des limites connues ? Corrélatif de la portée de l'acte, le franchissement opéré par une telle expédition induit une rupture : un après distinct de l'avant qui ouvre vers le changement, vers l'altération radicale de l'espace vécu et de ses déterminants symboliques. La projection sur les enjeux des vols spatiaux de longue durée nous impose résolument de considérer cette part foncièrement irréductible de l'humain et de sa subjectivité qui devancera toujours les impasses d'une étude qui se voudrait universelle. C'est ici que la prise en compte de la psychologie individuelle et collective, loin de constituer une modélisation applicable pour tous, doit nous inviter à penser autrement.

C'est à partir de ces considérations éthiques que nous proposons la thèse suivante : l'inédit, souligné par la transgression radicale de cette entreprise, excède la conquête de l'espace et de la troisième dimension. Il s'agit ici d'une rencontre avec la quatrième dimension, d'une confrontation avec les limites imposées par la temporalité, par ses effets sur le corps et les déterminants psychiques, cette peur de notre finitude que Pascal

exprime dans la plus fameuse et assurément la plus courte de ses Pensées : « Le silence éternel de ces espaces infinis m'effraie. »

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de la leçon de 24 heures (par ordre alphabétique) : Yann Auxéméry, Sébastien Bisconte, Sabine Chollet, Jean-François Clervoy, Franck de Terrasson de Montleau, Cyrille Fournier, Bertrand Lahutte, Olivier Manen, Patricia Maruani, Jean-Pierre Metz, Gérard Solignac, Virginie Vautier.

Références bibliographiques

[1] Timbal J. Histoire de la Médecine aéronautique et spatiale française. Paris, éditions Glyphe, 2009.

[2] Rivolier J. L'homme dans l'espace. Une approche psycho-écologique des vols habités. Paris, PUF, 1997.

[3] Solignac G, Galle-Tessonneau JR, Bordier A, Denis JB. La sélection psychiatrique des astronautes européens : l'expérience française. Ann Med Psychol 1992;150(9):693-8.

[4] Pavy-Le Traon A, et al. From space to Earth: advances in human physiology from 20 years of bed rest studies (1986-2006). Eur J Appl Physiol 2007;101:143-94.

[5] Humex : Study on the survivability and adaptation of humans to long-duration interplanetary and planetary environments. ESTEC/Contract No. 14056/99/NL/PA, Technical note 5 roadmap for a future European strategy towards human exploratory missions and terrestrial applications and benefits, May 2001.

[6] Rivolier J. Facteurs humains et situations extrêmes. Paris, Masson, 1995.

[7] Clervoy P, Clervoy JF. Le facteur humain dans le voyage spatial de longue durée : extrapolation sur les enjeux pulsionnels et affectifs. Les 10es entretiens de médecine aérospatiale de Megève, 4 juillet 2008.

[8] Poupon Ch. L'habitabilité des voyages extraordinaires. Regard sur les missions sous-marines, polaires et spatiales. Mémoire de fin d'études en design industriel, ENSCI - Les Ateliers, 2012.

[9] Selye H. Le Stress de la vie. Paris, éditions Gallimard, 1975.

[10] Rosnet E. L'adaptation psychologique au stress dans les situations extrêmes. Document de synthèse HDR, Université de Reims Champagne Ardenne, 1999.

[11] Solignac A. Enjeux psychologiques du retour de missions isolées – Le cas des hivernants polaires français. Thèse de psychologie, Université de Reims Champagne – Ardenne, 2010

[12] Missenard A. Identification et processus groupal. In : Anzieu D. et al., Le travail

psychanalytique dans les groupes, 1. Cadre et processus. Paris, Dunod, 1982.

[13] Clervoy JF. Histoire(s) d'espace. Mission vers Hubble. Paris, éditions Jacob-Duvernet, 2009.

[14] Banks A. Astronaut biography project for countermeasures of human behavior and performance risks in long duration space flights. NASA Johnson Space Center, NASA USRP, Internship Final Report, 29 february 2012.

[15] Vanbaarsen B. Person autonomy and voluntariness as important factors in motivation, decision making, and astronaut safet : First results from the Mars 500 LODGEAD study. Acta Astronautica 2013; (87):139-46.

[16] http://humanresearchroadmap.nasa.gov/Risks/?i=99 (risk of adverse behavioral conditions and psychiatric disorders).

Chaire de recherche appliquée aux armées : Discipline « biologie des agressions »

Enjeux scientifiques et risques de la biologie synthétique

Éric Valade

1. Introduction

La biologie de synthèse est un nouveau domaine de la biologie basé sur la manipulation ou la création de fonctions ou de systèmes biologiques. Son champ d'applications semble sans limite si l'on tient compte des capacités sans cesse améliorées des techniques de biotechnologie utilisées. Sa représentation dans l'imaginaire collectif correspond à une boîte de Pandore associée à de nombreux risques. La véritable problématique de la biologie de synthèse réside donc dans ce paradoxe entre une discipline offrant des applications scientifiques illimitées et les risques encourus.

2. Comment définir la biologie synthétique ?

Si le terme de « biologie synthétique » apparaît dès 1912, sous la plume de Stéphane Leduc afin de définir les aspects descriptifs, analytiques et synthétiques de la biologie: « reproduire en dehors des êtres vivants chacun des phénomènes de la vie » ; la vraie naissance de cette discipline intervient après la Seconde Guerre mondiale, quand Watson et Crick découvrent la structure en double hélice de l'ADN, support de l'information génétique de tout être vivant [1, 2]. Il s'agit d'un domaine scientifique combinant biologie et principes d'ingénierie dans le but de construire des systèmes biologiques existants ou disparus ou de concevoir et construire de nouveaux systèmes et fonctions biologiques.

Les grands objectifs de cette nouvelle discipline sont :

- une meilleure compréhension du vivant ;

- le développement de nouveaux outils répondant à divers besoins dans de nombreux domaines comme la santé, l'agriculture, l'énergie, l'environnement.

On ne considère plus la cellule et son patrimoine génétique comme une entité vivante mais comme une librairie de fonctions que l'on peut réorganiser selon les finalités souhaitées. La biologie de synthèse est ainsi née dans les années 2000 grâce à une évolution à la fois conceptuelle et technologique de la biologie. Elle est souvent associée à un autre domaine en pleine évolution, celui des nanotechnologies, qui demeure cependant classiquement séparé du champ de cette première.

3. Quels sont les enjeux scientifiques de la biologie de synthèse ? (figure 1)

La biologie de synthèse couvre un champ multiple, composé pour le moment des éléments suivants :

- la synthèse d'ADN,
- la synthèse de systèmes biologiques ;
- la définition de génomes minimaux ou cellules minimales ;
- la construction de « proto cellules » ou cellules synthétiques, ;
- la xénobiologie, qui se définit comme les formes de vie qui n'existent pas sur terre.

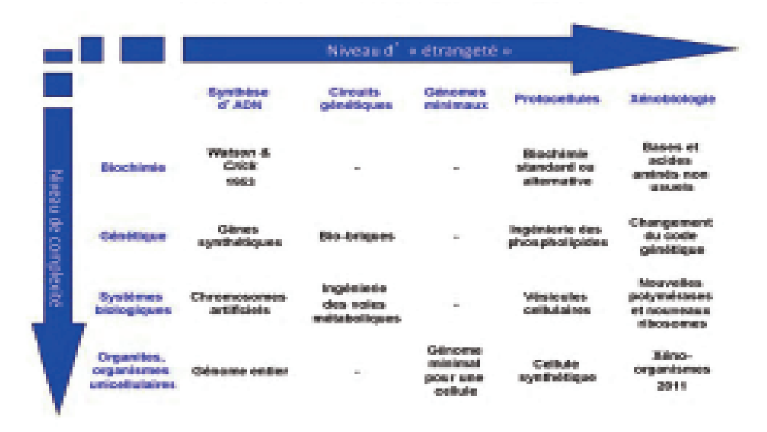


Figure 1.
Limite de la biologie synthétique ?

3.1. La synthèse d'ADN

La première expression du gène du collagène est publiée en 1978 par Sobel [3]. Cette synthèse fut rendue possible grâce aux travaux de Nathans et Danna, chercheurs qui utilisèrent pour la première fois en 1971 des enzymes de restriction pour couper des fragments d'ADN. Associées à l'utilisation de ligases, ces enzymes de restriction permettaient de déplacer des gènes dans des vecteurs d'expression mobiles, plasmides ou virus. Ces travaux valurent ainsi à Arber, Nathans et Smith le prix Nobel de Médecine et de Physiologie en 1978 pour leur découverte. Le champ d'applications de la synthèse d'ADN donnait naissance à la génétique moléculaire, la boîte de Pandore de la biologie synthétique s'entrouvrait. Grâce à cette technologie, les biologistes moléculaires se sont intéressés, dès que cela a été possible, à la génération d'organismes complets, en premier lieu les plus petits et les plus simples : les virus. En 1978, la génétique inverse voyait le jour avec les travaux de Charles Weissmann [4]. En transduisant l'information génétique d'un bactériophage à une bactérie, il est capable de produire des virions fonctionnels. Les premiers virus sont synthétisés dans les

années 90 comme par exemple le virus de la poliomyélite. Peu à peu toutes les familles virales sont générées, y compris les virus à ARN négatif et des virus très pathogènes tels les virus de fièvres hémorragiques. Déjà, à ce stade de développement, la pathogénicité et la virulence décrites sont identiques chez les virus de synthèse et les virus sauvages. On sait aujourd'hui générer toutes les familles virales, y compris des virus disparus tel le virus de la grippe espagnole synthétisé en 2005 [5]. L'intérêt de ces synthèses porte également sur la connaissance du vivant puisque l'on peut modifier à façon ces virus, et sur la mise au point d'applications médicales. Le développement biotechnologique permet ainsi la génération de virus vaccinaux et de vecteurs de thérapie génique. Ces avancées liées à la biologie des virus permirent alors de jeter les bases techniques pour la synthèse de plus gros micro-organismes. La première bactérie est synthétisée *de novo* en 2010 : *Mycoplasma laboratorium* [6].

3.2. La synthèse de systèmes biologiques

La biologie de synthèse permet également d'élaborer des chaines métaboliques à partir de plasmides contenant des gènes exprimant des fonctions de base ; la notion de biobrique est alors introduite ainsi que celle de banque de biobriques. Ces biobriques permettent l'assemblage de plusieurs systèmes biologiques : le biolégo [7]. Un des premiers exemples fut la synthèse de l'acide artémisinique par une levure [8]. Cette synthèse de systèmes biologiques arrive maintenant à maturité industrielle. Le biocarburant peut être produit à partir d'algues vertes. L'avantage est que ce système ne consomme pas de ressources agricoles comme les autres biocarburants, mais le rendement demeure faible à ce stade de développement. Citons également, la production d'hématies de groupe sanguin rare, qui fait partie des applications en médecine de la synthèse de systèmes biologiques. L'évolution de ces technologies connaît des applications plus stratégiques. Ainsi des scientifiques utilisent des bactéries pour détecter les mines enfouies. Cette technique nommée *BioBricking* permet entre autres de rendre luminescentes des bactéries en présence d'explosifs ou d'organophosphorés.

3.3. La construction de proto-cellules

Un des enjeux scientifiques réside dans la production de proto-cellules, c'est à dire de cellules minimales capables d'aller délivrer un médicament sur une cible. Ces cellules existent déjà sous forme d'enveloppes lipidiques pseudo-typées capables de vectoriser des molécules biologiques. Un des exemples majeurs est la gliptine, un antidiabétique synthétisé par ingénierie des protéines [9]. L'étape suivante sera de produire des cellules synthétiques avec une information génétique qui peut être propagée vers une cible donnée.

3.4. La xénobiologie

L'objectif est de développer des formes de vie métabolique étrangères à celles présentes sur la terre. Ainsi en 2011, est synthétisée la première bactérie xénobiotique

capable de croitre en présence du composé 5 chloro-uracile [10]. Le pas de la création d'êtres vivants nouveaux était franchi.

Si l'on tient compte de ces différents champs d'applications, la biologie synthétique peut se décomposer selon une matrice à deux axes : l'un de complexité, le second d'altérité.

En 2011, la case la plus compliquée est déjà atteinte confirmant l'ouverture de cette boîte de Pandore, ouverture corrélée à la survenue de nouveaux risques, que nous allons développer.

4. Quels sont les risques associés à la biologie de synthèse ?

Compte tenu des capacités biotechnologiques couramment utilisées et de leur accessibilité à un grand nombre de laboratoires, la biologie de synthèse est maintenant capable de synthétiser facilement des organismes vivants. CraigVenter s'est ainsi vanté d'avoir créé la vie en 2008 et de jouer à Dieu. Imaginons, l'espace d'un instant, la possibilité de ressusciter l'homme de Neandertal. De plus, les perspectives commerciales sont considérables ; certains émettent même l'idée de breveter le vivant. Toutes ces déclarations et toutes ces questions constituent un véritable défi pour l'éthique. Elles posent la question de la limite des lois de bioéthique et la nécessité d'instaurer de nouvelles règles pour une nouvelle discipline que constitue cette biologie de synthèse.

Les risques sont multiples et résident dans :

4.1. L'accessibilité aisée aux biotechnologies

La première interrogation réside dans le fait que ces technologies sont de plus en plus faciles d'accès et que le risque s'étend à la fois à l'échelon des pays mais également à l'échelon de groupes voire à celui d'individus. Devant l'accessibilité à ces nouvelles technologies et leur démocratisation, notamment via internet, le chercheur ne peut-il pas devenir un apprenti sorcier sans le vouloir, notamment suite à des erreurs humaines ou suite à des événements inattendus ? Ainsi le paradigme de l'apprenti sorcier, n'est–il pas le biologiste de garage capable grâce à ces nouvelles technologies de créer de nouveaux organismes, de lui-même, par curiosité personnelle ou grâce à des kits commerciaux qui seraient disponibles ? L'accessibilité facilitée multiplie ainsi le risque d'un événement accidentel lié à la biologie de synthèse.

4.2. L'échappement d'un laboratoire par accident

Un risque important est le risque d'échappement du confinement d'un laboratoire. Imaginons l'espace d'un instant, quel serait le devenir d'un nouvel organisme libéré dans l'environnement ou les conséquences de la réintroduction d'un organisme

disparu ? Ce risque est majeur car il est lié avant tout à la création de nouvelles fonctions biologiques ou de nouvelles entités biologiques. Comment prédire les interactions au sein d'association de biobriques ? Comment prédire les risques associés à des systèmes génétiques totalement nouveaux ? Ces nouveaux systèmes biologiques potentiels font donc naître de nouvelles incertitudes, de nouveaux risques. Or le premier niveau de parade demeure le confinement absolu de ces expériences afin d'éviter toute diffusion dans l'environnement, qui pourrait avoir de multiples conséquences sur l'homme, sur la faune et sur la flore. Par ailleurs, a-t-on une vision claire en termes de biosécurité et de biosûreté de toutes les activités de la bio-industrie, notamment quand des enjeux financiers colossaux existent? Ainsi, la question se pose de l'existence d'organismes de contrôle, de leurs prérogatives et de leurs compétences.

4.3. L'acte malveillant délibéré

Nous avons pour l'instant uniquement abordé les risques liés à l'apprenti sorcier, mais si nous réfléchissons maintenant au sorcier véritable, quels seraient les risques liés aux agents synthétiques développés et disséminés intentionnellement ? Les données scientifiques sont facilement accessibles, comme nous l'avons déjà souligné, et leur utilisation à des fins malveillantes aisée. Dans ce contexte, l'arme biologique-synthétique, demeure-t-elle encore un fantasme d'aujourd'hui et une réalité de demain ? L'agent pourrait être rendu plus pathogène, plus résistant aux traitements de référence ou indétectable par les moyens diagnostiques habituels. Cet agent pourrait appartenir à une cinquième classe de pathogénicité, qui n'en compte actuellement que quatre, à l'origine de maladies gravissimes, avec un risque majeur de propagation sans aucune possibilité de traitement. Dans ce contexte, on peut imaginer l'impact en termes de décès mais également en termes de désorganisation des structures étatiques. Devant ces constatations, il est primordial que les réglementations nationales, européennes et internationales évoluent face à ces nouveaux risques que ce soit en termes de bioéthique, de biosûreté, de biosécurité et de communication scientifique. Ce risque est déjà pris très au sérieux par les législations nationales et internationales qui sont de plus en plus draconiennes. Elles ont déjà été mises en place pour contrôler l'échange et l'exportation de technologies, d'agents ou de données liés aux agents hautement pathogènes. Mais sont-elles suffisantes ?

4.4. Le développement d'un sentiment sociétal de méfiance par rapport à ces nouvelles technologies

Le champ des possibilités qu'offre la biologie synthétique entraine donc des questionnements multiples et nécessite de développer un nouveau modèle de gestion des risques en tenant compte notamment des inquiétudes sociétales. La couverture de ces inquiétudes par les médias est le plus souvent limitée mais souvent mal orientée. Le débat se résume le plus souvent à la transgression des lois de la nature. Ainsi,

l'opinion publique a un degré de confiance très relatif par rapport aux choix du gouvernement en termes d'enjeux technologiques. Cette problématique est prise en compte actuellement en amont comme le souligne la publication d'un rapport rédigé par la ministre actuelle de l'enseignement supérieur et de la recherche, Madame Geneviève Fioraso [11]. Ce rapport insiste sur la nécessité d'établir une relation de confiance avec la population en évitant les promesses inconsidérées, en maîtrisant les risques de sécurité et en conservant un rapport bénéfices/risques satisfaisant. Face à ces évolutions, les pays ont mis en place certains principes plus ou moins libertaires ; du principe de précaution, au principe de liberté absolue d'innovation en passant par le principe de vigilance prudente. En France, le choix n'a pas été d'instaurer un moratoire ou la création de nouvelles instances. Le pragmatisme est de rigueur. Ce rapport parlementaire de 2012, préconise une veille scientifique avec une réunion annuelle pilotée par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), la prise en compte des recommandations nationales applicables au génie génétique et celles d'utilisation des ADN recombinants rédigées par la Direction Générale de l'Armement (DGA). Au niveau européen, un groupe de travail sur l'éthique des sciences et des nouvelles technologies a été créé. Il souligne l'importance de conduire une étude sur les implications morales, légales et sociales de ces nouvelles technologies. À l'inverse, cependant, pour le grand public, les inquiétudes sociétales sont bien présentes et l'idée d'un moratoire est soutenue ainsi que la création de nouvelles instances de contrôle encadrant strictement l'ensemble de ces activités.

4.5. La transgression de l'éthique

Le risque majeur demeure néanmoins la transgression des règles d'éthique car la biologie de synthèse produit des êtres vivants qui ont une valeur morale, même s'il s'agit de micro-organismes dont la position hiérarchique reste faible dans le monde du vivant. Pour prendre en compte ce risque éthique, les chercheurs ont un devoir impératif de diligence ; c'est à dire que les acteurs de la recherche doivent prendre conscience de l'état des connaissances et des conséquences éventuelles de leurs manipulations. Ils ont alors un devoir de prendre toutes les mesures de précaution pour éviter des dommages prévisibles qui pourraient toucher les chercheurs, leur entourage mais également l'environnement au sens large du terme. Toute expérience doit ainsi être déclarée, encadrée et soumise à des autorisations préalables. Ces démarches sont obligatoires dans de nombreux pays mais quid des autres pays sans réglementation et des expériences qui pourraient être menées dans la clandestinité sans déclaration préalable ? De plus, comment parler d'éthique, quand des chercheurs se prennent pour Dieu ? L'imaginaire et les représentations du chercheur sont aussi un élément à prendre en compte en termes de risque. La biologie de synthèse pose également des questions d'éthique et d'injustice, basées sur le creusement du fossé technologique entre les pays ; ceux maîtrisant ces technologies et ceux ne les maîtrisant pas. Pour pallier ce

risque éthique, il est primordial que les jeunes chercheurs soient sensibilisés aux risques de la biologie synthétique et aux questions d'éthique que ces nouvelles technologies soulèvent. Dans ce contexte, la formation initiale doit absolument comporter des enseignements d'éthique, qui doivent faire prendre conscience de ces règles.

4.6. Les intérêts financiers liés à la recherche

Se pose également la question du financement de ces recherches et de leur finalité. Les partenariats entre recherche académique et industries sont très fréquents. Les enjeux financiers sont colossaux ; l'exemple type étant la production de bio-carburant par des micro-organismes spécifiquement créés pour cette tâche. Dans cet environnement industriel et financier, où est la place de l'éthique et de la volonté de la maîtrise des risques ?

Devant ce constat de l'existence de risques certains, il est donc important de décloisonner les domaines de la science et notamment le domaine de la biologie de synthèse. Cette biologie devrait ainsi se développer au sein d'équipes de biologistes, d'ingénieurs et de spécialistes des sciences humaines et sociales afin de prendre en considération l'ensemble des enjeux scientifiques et sociétaux et les risques encourus.

5. Conclusion

En conclusion, cette leçon d'agrégation, qui portait sur les enjeux scientifiques et les risques de la biologie de synthèse, constitue un argumentaire qui devrait conduire l'ensemble des acteurs de la recherche :

- à développer des centres d'excellence multidisciplinaires alliant recherche et formation ;
- à promouvoir un véritable dialogue entre sciences et société ;
- à mobiliser en synergie les acteurs institutionnels, étatiques et industriels ;
- à mettre en place un politique de financement incitatrice ;
- à harmoniser les politiques et maîtriser les risques à l'échelle européenne et internationale.

L'homme en développant la biologie de synthèse utilise maintenant le vivant comme un outil. Les enjeux scientifiques sont fabuleux : nous entrons dans l'ère du « bio-lithique » ; les risques quant à eux bien réels, doivent impérativement être maîtrisés.

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de la leçon de 24 heures (par ordre alphabétique) : Diane Agay, Fabrice Biot, Frédéric Dorandeu, Renaud Dulou, Éric Garnotel, Maryline Généro-Gygax, Lionel Koch, Nathalie Koulmann, Isabelle Leparc-Goffart, Patrick Martigne, Jean-Marie Pagès, Christophe Peyrefitte, Sébastien Plumet, François Thibault.

Références bibliographiques

[1] Stephane L. La biologie synthétique: A Poinat, Editeur; 1912.

[2] Watson C. Science. 1953.

[3] Sobel ME, Yamamoto T, Adams SL, DiLauro R, Avvedimento VE, de Crombrugghe B, et al. Construction of a recombinant bacterial plasmid containing a chick pro-alpha2 collagen gene sequence. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 1978;75(12):5846-50. Epub 1978/12/01.

[4] Taniguchi T, Weissmann C. Inhibition of Qbeta RNA 70S ribosome initiation complex formation by an oligonucleotide complementary to the 3' terminal region of E. coli 16S ribosomal RNA. Nature. 1978;275(5682):770-2. Epub 1978/10/26.

[5] Tumpey TM, Basler CF, Aguilar PV, Zeng H, Solorzano A, Swayne DE, et al. Characterization of the reconstructed 1918 Spanish influenza pandemic virus. Science. 2005;310(5745):77-80. Epub 2005/10/08.

[6] Gibson DG, Glass JI, Lartigue C, Noskov VN, Chuang RY, Algire MA, et al. Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. Science. 2010;329(5987):52-6. Epub 2010/05/22.

[7] Tom K. Idempotent Vector Design for Standard Assembly of Biobricks. Massachusetts Institute of Technology,77 Massachusetts Avenue, Cambridge, MA, 2139-4307, 2003.

[8] Ro DK, Paradise EM, Ouellet M, Fisher KJ, Newman KL, Ndungu JM, et al. Production of the antimalarial drug precursor artemisinic acid in engineered yeast. Nature. 2006;440(7086):940-3. Epub 2006/04/14.

[9] Savile CK, Janey JM, Mundorff EC, Moore JC, Tam S, Jarvis WR, et al. Biocatalytic asymmetric synthesis of chiral amines from ketones applied to sitagliptin manufacture. Science. 2010;329(5989):305-9. Epub 2010/06/19.

[10] Marliere P, Patrouix J, Doring V, Herdewijn P, Tricot S, Cruveiller S, et al. Chemical evolution of a bacterium's genome. Angew Chem Int Ed Engl. 2011;50(31):7109-14. Epub 2011/06/29.

[11] Fiorase G.. Les enjeux de la biologie de synthèse. Assemblée nationale, 2012 Contract N° 4354.

Chaire d'imagerie médicale appliquée aux armées et risque radio-nucléaire

Radioprotection en environnement extrême

Jean-Christophe Amabile

1. Introduction

Au début du XXe siècle, la radioactivité bénéficiait d'une aura particulièrement favorable et de nombreux produits de la vie courante contenaient des matières radioactives pour leurs soi-disant bienfaits. Depuis 1945, la perception de l'exposition aux rayonnements ionisants est devenue quasi systématiquement irrationnelle. Cette exposition évoque dans les esprits des fantasmes négatifs pour la population mais aussi chez certains professionnels de santé. L'irradiation rappelle le péché originel d'Hiroshima et Nagasaki et la contamination radioactive, une forme de contagiosité de la radioactivité, un fléau irrémédiable, voire une malédiction radiologique ! Quels peuvent être les moyens pour rectifier une telle perception ?

La radioprotection propose un ensemble de règles, de procédures et de moyens de prévention et de surveillance visant à empêcher ou réduire les effets nocifs des rayonnements ionisants produits sur les personnes, directement ou indirectement, y compris par les atteintes portées à l'environnement. Dans le contexte particulier de l'accident de Fukushima qui aurait tendance à nous faire oublier les 23 000 morts liés au tsunami qui s'est abattu sur le Japon en mars 2011, quelle peut-être la place de la radioprotection en environnement extrême, c'est-à-dire dans des conditions dégradées, auxquelles sont fréquemment confrontées nos armées ?

Cet article vous propose de faire rapidement connaissance avec les différentes facettes de la radioprotection, puis de voyager, à la façon de Jules Verne, de 20 000 lieux sous les mers, de la Terre à la Lune, et bien au-delà encore ! Enfin, nous aborderons les réponses possibles et les perspectives pour l'avenir.

2. État actuel de la radioprotection

2.1. Généralités sur les effets des rayonnements ionisants

Il existe deux types d'effets biologiques qui ont des caractéristiques totalement différentes : les effets déterministes et les effets stochastiques [1].

Les effets déterministes, causés par la mort d'un grand nombre de cellules, sont des effets obligatoires qui apparaissent dès lors qu'un seuil de dose absorbée a été atteint, au-delà duquel la gravité augmente avec la dose. Ce seuil, généralement élevé (supérieur à 1 gray [Gy]), dépend de la sensibilité particulière des tissus en cause, du débit de dose, du caractère partiel ou global de l'irradiation [2]. Ces effets, pour la

plupart précoces (apparaissant dans les jours ou semaines après l'irradiation), sont responsables de brûlures cutanées (brûlures radiologiques) ou de la disparition de cellules sanguines (syndrome d'irradiation aigu).

Les effets stochastiques, liés à la mutation cellulaire, sont des effets à long terme qui se manifestent de façon aléatoire. Considérés par prudence sans seuil par la réglementation, leur fréquence augmente avec la dose. Ces effets, cancers radio-induits et effets héréditaires (jamais mis en évidence chez l'homme en épidémiologie), sont des affections n'ayant pas de caractère clinique spécifique. Quelque soit le type d'effets, il existe des susceptibilités individuelles importantes.

Le choix des moyens de protection contre les effets des rayonnements ionisants doit être adapté au mode d'exposition [3].

Ainsi, pour se protéger de l'exposition externe à distance (ou irradiation externe), les principes de protection se résument en trois mots :

- temps : la dose absorbée est fonction du débit de dose et du temps de présence auprès de la source. La notion de temps d'exposition peut conduire à répartir une même tâche entre plusieurs intervenants, afin de réduire chaque dose individuelle ;
- distance : le débit de dose varie en fonction de l'inverse du carré de la distance (pour les rayonnements X et gamma). Si l'on augmente la distance d'un facteur 3, la dose (ou le débit de dose) est divisée d'un facteur 9. Il est donc recommandé d'utiliser des prolongateurs ou de se placer le plus loin possible d'une source lors des interventions ;
- écrans : ils mettent à profit la propriété des rayonnements ionisants d'être arrêtés ou atténués par la matière. Ils n'ont aucun intérêt pour le risque alpha. On utilise des écrans légers (plexiglas, aluminium...) pour arrêter le rayonnement bêta, des écrans denses (plomb, béton...) pour atténuer les rayonnements X ou gamma. Les neutrons sont atténués par des écrans hydrogénés (eau, paraffine...).

La protection vis-à-vis de la contamination est avant tout collective ; dans certaines situations, elle doit être aussi individuelle. Elle repose sur le contrôle des accès de la zone à risque et sur le confinement (dynamique ou statique) de la source non scellée. En effet, pour la plupart des radionucléides, c'est l'air qui transfère la contamination et non la contamination qui diffuse spontanément. En zone à risque, l'organisation du travail doit être rigoureuse avec un contrôle des entrées et des sorties des intervenants et du matériel, un respect strict des mesures d'hygiène (ne pas boire, ni manger, ni fumer). En cas de contamination avérée, la mise en place d'une ventilation sur filtre facilite la dilution des poussières contaminées. L'utilisation d'une protection individuelle cutanée et respiratoire est nécessaire.

Les mesures de protection collectives sont systématiquement envisagées avant toute mesure de protection individuelle. Elles comprennent la prise en compte du risque dès la conception du matériel, la mise en place de protections au plus près de la source de danger, une organisation du travail adaptée aux risques présents, une mesure continue de l'exposition et une analyse permanente du retour d'expérience. Une mesure

essentielle de protection collective est la signalisation des sources et des zones de danger par des pictogrammes en forme de trèfle, de couleurs conventionnelles.

2.2. Grands principes de la radioprotection

Le potentiel néfaste des effets des rayonnements ionisants sur la santé est apparu, dès la fin du 19e siècle, lorsque furent observés des cas cliniques de radiodermite ou de nécrose des tissus et, quelques années plus tard, des leucémies et des cancers cutanés. Ces observations, qui ont conduit à reconnaître la possibilité d'effets aigus mais aussi d'effets tardifs cancérogènes, ont contribué, au niveau international, au développement de la radioprotection qui a pour objectif d'éviter l'apparition de ces effets aigus mais aussi de réduire les probabilités d'apparition de cancers radio-induits, notamment en limitant les doses reçues par les travailleurs [4].

Ainsi, en 1928 à Stockholm, les participants au Congrès international de radiologie ont mis en place une commission internationale de protection contre les rayons X et le radium. Cette commission, chargée d'élaborer des règles de protection pour les radiologues et les patients, a publié ses premières recommandations dès 1934 puis est devenue, en 1950, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR). Pour élaborer ses recommandations, la CIPR exploite principalement des rapports de l'*United Nations Scientific Comittee on the Effects of Atomic Radiations* (UNSCEAR), comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des radiations ionisantes d'origine naturelle et artificielle.

La CIPR a donc établi un système de protection contre les effets des rayonnements ionisants qui repose sur le respect de trois principes fondamentaux :

- la justification des pratiques, qui impose que toute utilisation des rayonnements ionisants soit évaluée au titre d'un bilan des avantages individuels ou collectifs qu'elle apporte par rapport à la nuisance qui peut en résulter ;
- l'optimisation de la protection, qui est un concept selon lequel le matériel, les procédures et l'organisation doivent être conçus de telle sorte que les expositions individuelles ou collectives soient maintenues aussi basses qu'il est raisonnablement possible, en tenant compte des facteurs économiques et sociaux ;
- la limitation des expositions individuelles, qui vise à empêcher toute apparition d'effets déterministes, en particulier sur la peau, le cristallin et les extrémités, et à limiter à un niveau acceptable le risque de survenue d'effets probabilistes au niveau de l'organisme entier.

Sur la base de cette doctrine, la CIPR, organisme non gouvernemental, publie des “recommandations” sur des points généraux ou particuliers. Bien que n'ayant aucun caractère obligatoire, celles-ci font référence sur le plan international en raison de leur valeur scientifique et de leur approche prudente et réaliste des problèmes de radioprotection. Ces recommandations constituent le socle des normes internationales notamment pour la Communauté européenne de l'énergie atomique (EURATOM).

C'est ainsi que les directives européennes relatives à la protection des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants sont transposées en droit français. Elles concernent la population, les patients et l'intervention en situation d'urgence radiologique en modifiant le Code de la santé publique et les travailleurs (ce qui inclut les militaires), en modifiant le Code du travail.

2.3. Cadre réglementaire français

L'utilisation des rayonnements ionisants, la connaissance de leurs effets et la réglementation se sont développées presque simultanément depuis un peu plus d'un siècle. Cette particularité donne à la construction de la réglementation et à l'organisation du cadre juridique national un caractère extrêmement présent et évolutif.

L'organisation nationale, propre à la radioprotection et à la sûreté nucléaire, s'appuie en grande partie sur un rapport parlementaire de 1998 : le rapport « Le Déaut », portant sur la transparence et la sécurité en matière nucléaire. Les conclusions principales de ce rapport concernent :

- la nécessité de réunir les activités de sûreté nucléaire* et de radioprotection, en incluant la notion d'environnement ;
- la nécessité de transparence, en distinguant systématiquement les exploitants et l'autorité et en dotant les exploitants et l'autorité d'experts indépendants les uns des autres.

Ce rapport se traduit par une organisation spécifiquement française, très centralisée, distinguant d'une part l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), d'autre part l'organisme expert institutionnel, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), et enfin les exploitants (dont la Défense).

L'ASN exerce la fonction d'autorité pour toutes les sources de France y compris les sources de la Défense à une exception près : les sources, dont une liste limitative est établie, entrant dans le cadre très étroit de la dissuasion et des essais nucléaires. Les sources dont l'usage dépend de l'ASN sont dites relevant du « régime général ». Ainsi, par exemple, l'ASN demeure l'autorité de référence pour le scanner d'un service d'imagerie médicale dans un Hôpital d'instruction des armées (HIA). L'ASN est une autorité administrative indépendante. Elle ne relève donc hiérarchiquement d'aucun ministère. Elle dispose d'un véritable pouvoir réglementaire et c'est donc elle qui établit la plupart des règles qui déterminent, en France, la mise en œuvre de la radioprotection et de la sûreté nucléaire.

Les sources ne relevant pas du régime général relèvent, pour leur usage, d'une autorité administrative dépendant des ministères de la Défense et de celui de l'Industrie : le Délégué à la sûreté nucléaire et à la radioprotection pour les activités et les installations intéressant la Défense (DSND). Ainsi, pour des raisons de protection des secrets de la Défense, une partie des installations de la Défense échappe aux contrôles de l'ASN et dépend du DSND (figure 1). Il s'agit exclusivement de tout ce qui a un rapport avec

* La sûreté nucléaire (discipline de pure ingénierie) est l'ensemble des dispositions techniques et des mesures d'organisation relatives à la conception, à la construction, au fonctionnement, à l'arrêt et au démantèlement des installations nucléaires de base, ainsi qu'au transport des substances radioactives, prises en vue de prévenir les accidents ou d'en limiter les effets.

les installations nucléaires de base secrète (INBS), du contrôle du transport de matières radioactives ou fissiles à usage militaire, des systèmes nucléaires militaires (SNM) et des sites d'expérimentations nucléaires intéressant la Défense. Le DSND bénéficie du concours de personnel mis à sa disposition, notamment par le ministre de la défense et le ministre chargé de l'industrie, regroupé au sein d'une structure dénommée Autorité de sûreté nucléaire de Défense (ASND) et placées sous sa responsabilité

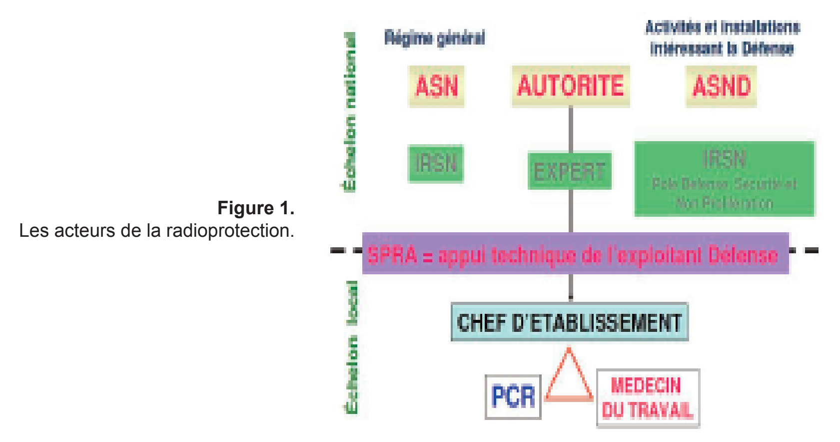


Figure 1.
Les acteurs de la radioprotection.

Pour autant, la réglementation de droit commun, qui s'appuie notamment sur les dispositions prévues par le Code de la santé publique et le Code du travail, est applicable à l'ensemble du personnel civil et militaire du ministère de la défense, que celui-ci exerce dans des activités ou installations relevant de l'ASN ou du DSND. L'instruction n°4916/DEF/CAB a d'ailleurs pour objet de décrire l'organisation générale du ministère de la défense en matière de radioprotection [5], de préciser les responsabilités incombant aux divers organismes, d'informer les chefs d'établissement, les personnes compétentes en radioprotection (PCR) et les médecins du travail sur les différents aspects de cette réglementation.

L'expert institutionnel de l'autorité, que celle-ci soit l'ASN ou le DSND, est l'IRSN. Cependant, pour assurer la protection des secrets de la Défense, une structure dédiée a été mise en place au sein de l'IRSN pour apporter son expertise sur les points relevant de l'autorité du DSND. Cette structure porte le nom de pôle « défense, sécurité et non-prolifération ». Elle constitue l'un des quatre pôles opérationnels de l'IRSN.

Enfin, le Service de protection radiologique des armées (SPRA) est clairement identifié comme étant directement l'appui technique de l'exploitant Défense dans le domaine de la radioprotection médicale.

3. Environnement extrême

Un environnement extrême peut être défini comme un espace inhabituel ou hostile. Dans ce type d'environnement et notamment au cours d'activités militaires exposant

aux rayonnements ionisants, il faut par conséquent associer deux impératifs parfois opposés : maintenir un niveau de radioprotection satisfaisant et conserver une activité opérationnelle, voire survivre… Ces expositions peuvent être prévues et suivre, dans toute la mesure du possible, les obligations imposées par la réglementation, ou subies, si les conditions sont dégradées. Dans ce dernier cas, il faut identifier, évaluer et hiérarchiser les contraintes et adapter les mesures de radioprotection (figure 2) dans le cadre particulier de la maîtrise des nuisances en opérations (MNO). Ces contraintes, varient en fonction du type d'environnement extrême.

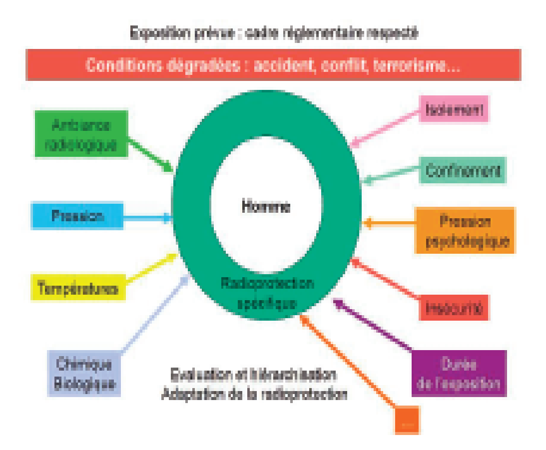


Figure 2.
Identification, évaluation et hiérarchisation des contraintes.

3.1. Radioprotection sous la mer

Le sous-marin nucléaire lanceur d'engins (SNLE) est un bon exemple d'environnement extrême où la radioprotection doit être mise en œuvre dans un milieu « concentré en risques ». En effet, il est difficile de réaliser parfois que dans ce type de bâtiment évoluant à plus de 300 mètres de profondeur coexistent un réacteur nucléaire, seize missiles stratégiques, des torpilles… Les risques liés au confinement sont omniprésents notamment pour ce qui concerne l'épuration de l'atmosphère, la production d'oxygène et les risques d'incendie dans un volume aussi exigu.

En situation normale, le risque radiologique est donc secondaire. Les systèmes de détection et d'alerte (sondes bêta/gaz), le zonage évolutif (fonction de la puissance développée par le réacteur), la surveillance médico-radiobiologique et dosimétrique de l'équipage sont autant de moyens de radioprotection qui sont employés à bord. Le bilan dosimétrique annuel moyen des sous-mariniers, très inférieur à 6 mSv par an, atteste de l'efficacité des ces mesures.

En revanche, en situation dégradée (collision, voie d'eau, incendie…), une approche globale s'impose et le risque radiologique peut très rapidement devenir extrêmement prégnant (gestion d'un accident à caractère radiologique en milieu confiné).

La radioprotection « sous la mer » ne concerne pas que les SNLE. S'il avait vécu plus longtemps, Jules Verne aurait peut-être imaginé le projet innovant du groupe naval

DCNS qui a pour objectif d'installer au fond des océans (à une centaine de mètres de profondeur) des centrales nucléaires, afin d'alimenter en électricité les villes côtières. Cette centrale sous-marine (baptisée FLEX BLUE) se présenterait sous la forme d'un cylindre de douze à quinze mètres de diamètre et serait dotée d'une chaudière nucléaire de 50 à 250 mégawatts (à titre de comparaison, un réacteur EDF a une puissance de 900 à 1450 mégawatts). Les problèmes de radioprotection intéresseraient prioritairement le personnel chargé de la maintenance qui interviendrait sur ce type d'installation à l'aide d'un sous-marin miniaturisé…

3.2. Radioprotection sur la mer et à la surface de la terre

Les balises et les phares de navigation sont alimentés parfois par des générateurs thermoélectriques radioisotopiques qui peuvent poser des problèmes importants de radioprotection. Il s'agit généralement de sources de strontium 90 qui, lorsqu'elles sont égarées ou volées, sont à l'origine d'accidents d'irradiation (ou de contamination si la source est descellée). Ce fut le cas en Géorgie [6], en décembre 2001, près du village de Lia : trois bûcherons ont trouvé dans la forêt deux sources orphelines autour desquelles la neige avait fondu. Au cours de la nuit, ils ont utilisé ces objets non identifiés comme source de chaleur. Au bout de quelques heures, ils ont présenté les signes prodromiques classiques d'un syndrome d'irradiation globale aiguë (SIGA) et des brûlures sont apparues au bout d'une à deux semaines (un des patients, gravement brûlé, a été traité à l'HIA Percy).

Comme nous l'avons déjà souligné, en opération extérieure (OPEX), la MNO est primordiale et nécessite d'adapter les mesures de radioprotection [7]. En 2008, le SPRA a d'ailleurs réalisé une mission dans le camp Warehouse de Kaboul (Afghanistan) afin de contrôler les installations émettrices de rayonnements ionisants du Groupement médico-chirurgical (GMC) et les matériels de déminage utilisés par les militaires réalisant les missions de Neutralisation Enlèvement Destruction des EXplosifs (NEDEX) et de conseiller le personnel concerné (figure 3). L'organisation de la radioprotection a pu ainsi s'adapter aux conditions opérationnelles (locaux en métallo-textile radio-transparent démontables, équipes présentes pour des périodes de deux à six mois…) par la mise en œuvre de mesures simples, peu onéreuses et adaptables en cas de relocalisation (par exemple, en utilisant des rideaux plombés). Au cours de cette mission, les principales recommandations ont porté sur l'importance de la désignation d'une personne responsable de l'organisation de la radioprotection, chargée de la dosimétrie et du zonage radiologique (classiquement, même en l'absence de diplôme de PCR, le manipulateur en électroradiologie) et la nécessité d'une surveillance dosimétrique passive de tout le personnel travaillant au bloc opératoire (zone surveillée du fait des cloisons en métallo-textile) ainsi que des médecins, chirurgiens et paramédicaux étrangers susceptibles d'être exposés aux rayonnements ionisants au sein de ce GMC.



Figure 3.
Mission de contrôle et de conseils du SPRA en OPEX.

D'autres exemples sur lesquels le SPRA a été sollicité sont intéressants à étudier. Au cours de la première guerre du Golfe et des conflits dans les Balkans, un million d'obus de 30 mm et 14 000 obus-flèches constitués d'uranium appauvri ont été tirés, ce qui représentait environ 360 tonnes d'uranium appauvri réparties sur une surface de 2 400 km^2… Ces expositions n'ont pas été à l'origine de pathologies radio-induites mais ont posé de nombreux problèmes de radioprotection. De même, la présence de sources orphelines industrielles ou médicales peut être à l'origine d'accidents d'exposition aux rayonnements ionisants pour les militaires déployés en OPEX.

En temps de paix, l'attentat à la bombe sale est un des scénarios de terrorisme radiologique largement envisagé qui créerait un environnement extrême par dispersion de matière radioactive, avec un effet de panique touchant de nombreux impliqués et une probabilité d'attentat B ou C surajouté. Les principales mesures de radioprotection concerneraient la protection des intervenants et une gestion efficace de l'afflux massif de blessés et valides suspects de contamination.

Le vendredi 11 mars 2011, un violent séisme de magnitude 8,9 suivi d'un énorme tsunami frappe la côte orientale du Japon et dévaste la région de Sendaï, provoquant la disparition de plusieurs milliers de personnes. Dans les heures qui ont suivi cette catastrophe naturelle, un bâtiment réacteur de la centrale nucléaire de Fukushima [8], située à 80 km au sud de la zone concernée, explose, provoquant la dispersion atmosphérique de matières radioactives. Dès le lendemain, un détachement français

de 118 personnes appartenant à différentes unités (Sécurité civile, Brigade des Sapeurs-pompiers de Paris et Services départementaux d'incendie et de secours) a été projeté en renfort des moyens de secours japonais pour une mission de sauvetage et de déblaiement des victimes. Compte tenu de la situation préoccupante de plusieurs centrales nucléaires dans cette zone, il est décidé d'intégrer à la mission une composante expertise et conseil technique en radioprotection du SPRA, chargée d'assurer la sécurité des équipes de secours françaises. Le lendemain, le détachement se rend près du littoral, sur un des sites les plus touchés par le tsunami. Le spectacle est apocalyptique : maisons détruites, écoles dévastées, voitures projetées sur les multiples décombres… Très rapidement, les appareils de détection objectivent la présence d'une ambiance radiologique liée à la contamination des sols. Cette situation conduit les experts à proposer un certain nombre de mesures visant à sécuriser les opérations : équipes de levée de doute en amont des équipes de secours, nettoyage des bottes avant le retour au camp de base pour ne pas contaminer l'intérieur des bus transformés en zones d'abri pour une partie du détachement. En l'absence d'eau pour assurer la nécessaire décontamination des effets d'intervention, des solutions de fortune ont été alors mises en place. Dans un froid glacial, les équipes exténuées après une journée d'intervention, ont utilisé des surbottes en contre emploi sur des semelles suspectes de contamination et à l'arrivée au campement, ont assuré le nettoyage des semelles dans des flaques de neige fondue. Cet environnement extrême a montré la nécessité d'une réévaluation permanente des choix décisionnels liés à la radioprotection. L'absence de valeur seuil de débit de dose ambiant mesurable pour décider de l'administration d'iodure de potassium (KI), mais aussi l'absence de règle établie et de recommandations pour la prise réitérée de ce médicament sur le terrain, sont autant de retours d'expérience très intéressants.

3.3. Radioprotection dans les airs et dans l'espace

En 2006, le SPRA a eu l'opportunité de réaliser une étude de poste très spécialisée afin de déterminer si les équipages de l'Armée de l'air navigant à bord des aéronefs de type E-3F (plus communément connus sous le nom d'AWACS [9]) étaient susceptibles de recevoir annuellement une dose efficace supérieure à 1 mSv (limite du « public ») en vue de mettre en œuvre des moyens de prévention adaptés et de déterminer les conditions dans lesquelles devaient être effectuées la surveillance radiologique et la surveillance médicale. Les résultats de cette étude ont montré qu'à partir du niveau 300 et de 200 heures de vol par an, la limite « public » était susceptible d'être dépassée. Actuellement, les personnels navigants concernés (E-3F et les autres aéronefs correspondant à ces critères de vol) sont classés en catégorie B par le commandement après avis du médecin de prévention et bénéficient d'une surveillance médico-radiobiologique et dosimétrique (figure 4).



Figure 4.
Étude de poste sur E-3F.

L'espace a toujours fait rêver les hommes, Jules Verne l'avait bien compris… Pour autant, rares sont ceux qui connaissent les problèmes de radioprotection liés au rayonnement cosmique primaire. En effet, ce dernier a deux origines :

- le rayonnement galactique, provenant de l'explosion d'étoiles ou supernovae, qui est composé de protons (87 %), d'électrons, mais également de neutrons et d'ions lourds ;
- le vent solaire, composé de protons (99 %) et d'électrons, qui est dévié par le champ magnétique terrestre et qui concentre ses lignes de force vers les régions polaires. Les éruptions solaires (événements protoniques) sont imprévisibles et leur influence à basse altitude ou pour les vols orbitaux n'est sensible que pour des éruptions majeures extrêmement rares (la dose reçue par les passagers d'un vol à 10 000 mètres et à grande latitude effectué pendant l'éruption solaire de 1956, la plus importante du 20e siècle, est estimée à 10 mSv). De même, en cas d'événement protonique majeur, une mission spatiale lointaine (Mars) pourrait être exposée à une dose de l'ordre de 5 Gy, dépassant donc la dose létale 50 !

L'espace est donc aussi un environnement extrême dans lequel la radioprotection doit être prise en compte, comme le témoigne le niveau d'exposition des « habitants » de la station spatiale internationale : 1 mSv par jour…

4. Réponses et perspectives

4.1. Réponses : quelques pistes

Il existe en France un réseau national de mesures (RNM) de l'atmosphère et des eaux constitué notamment par les balises des systèmes TELERAY et HYDROTELERAY. Ces mesures en temps réel sont complétées par les résultats de la surveillance environnementale des sites nucléaires civils et militaires. Cette surveillance de l'environnement « classique » n'est pas suffisante, et très rapidement, les retours d'expérience des incidents ou accidents radiologiques ont montré la

nécessité de planifier l'organisation de la radioprotection en environnement extrême. À titre d'exemple, les moyens d'alerte peuvent faire appel à des sirènes dans les périmètres de danger, des dispositifs d'alerte téléphonique automatique (EDF) ou une information ciblée par les médias locaux ou nationaux… Après l'accident de Fukushima, le Secrétariat général de la Défense et de la Sécurité nationale (SGDSN), sous l'égide du Premier ministre, a imposé une nouvelle organisation en insistant sur la redéfinition du rôle de l'État et des pouvoirs publics, l'implication des opérateurs nucléaires (d'où la création de la Force d'action rapide nucléaire ou FARN), la mutualisation et l'interopérabilité des moyens nationaux, l'optimisation de l'organisation des secours aux personnes et la réévaluation des études de sûreté.

Toujours en amont, la formation doit avoir pour objectif d'améliorer la culture en radioprotection par le biais d'enseignements théoriques et pratiques, en milieu militaire comme en milieu civil. Le cours des « médecins destinés à embarquer sur SNLE » [10] ouvert à un public plus large, les stages NRBC organisés par l'École du Val-de-Grâce (EVDG) sont autant de réponses à apporter pour mettre en œuvre la radioprotection en environnement extrême. Le Service de santé des armées (SSA) propose aussi une formation validante qui se décline sous la forme d'un Diplôme universitaire « Risques sanitaires radionucléaires » ou d'un Master NRBC-E (Nucléaire Radiologique Biologique Chimique – Explosif). Le SPRA demeure très impliqué dans le module NR de cet enseignement de haut niveau, créé conjointement en 2009 par l'EVDG, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) et l'université de Paris 6. Ce Master s'adresse aux professionnels de santé militaires ou civils (médecins, pharmaciens, chirurgiens dentistes, vétérinaires et paramédicaux) et à toute personne, titulaire d'une maîtrise scientifique ou d'une première année de Master ou équivalent par validation des acquis et de l'expérience, impliquée dans la prévention et la sécurité ainsi que la planification, l'organisation et la mise en œuvre des plans de secours répondant au risque NRBC-E. La veille scientifique et réglementaire, et la rédaction de publications et ouvrages didactiques sont aussi des moyens efficaces [11].

Enfin, la création de réseaux de compétences s'impose tout naturellement. Par exemple, au sein du SSA, le SPRA développe des collaborations avec l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA) dans le cadre de la prise en charge des irradiés (dosimétrie cytogénétique). Au niveau national, le SSA a établi des liens étroits avec les grandes institutions nucléaires civiles (CEA, AREVA, EDF) mais aussi l'IRSN. Au niveau international, il existe aussi des réseaux très actifs par l'intermédiaire de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) ou encore l'Organisation mondiale de la santé (OMS), par le biais du réseau REMPAN, cet acronyme signifiant « *Radiation Emergency Medical Preparedness Assistance Network* ».

4.2. Perspectives

Les mesures de protection collective sont systématiquement envisagées avant toute mesure de protection individuelle. Actuellement, il existe de nombreuses améliorations qui sont apportées aux moyens de confinement et de filtration dans les bâtiments et les véhicules, ou aux procédures d'intervention afin d'optimiser et de fractionner les doses susceptibles d'être reçues par les intervenants. Les équipements de protection individuelle (EPI) font aussi l'objet de nombreuses études ergonomiques. Les dispositifs tactiques de dosimétrie évoluent : le VAB RECO NRBC est un atout majeur et l'avenir de la dosimétrie opérationnelle est désormais tourné vers le XOM 1050. Ce dernier est un système de dosimétrie de nouvelle génération destiné à équiper les unités toutes armes pour l'évaluation du potentiel radiologique des troupes déployées. Prévu pour mesurer la dose reçue par chacun des groupes d'une unité élémentaire il pourra, dans certains cas, être utilisé en dosimétrie individuelle. Sa conception doit permettre une transmission automatique des données recueillies. L'objectif est bien réellement de numériser le champ de bataille et de prévoir l'intégration du dosimètre à la tenue de combat (programme « fantassin à équipement et liaisons intégrés » ou FELIN).

La radioprotection en environnement extrême fait déjà appel à des technologies de plus en plus perfectionnées. Depuis sa création en 1988, le Groupe d'intérêt économique EDF – CEA – AREVA d'intervention robotique sur accidents (GIE-INTRA) développe une expertise portant sur l'intervention à distance. Ainsi, l'hélicoptère HELINUC permet désormais de réaliser une cartographie gamma héliportée pour délimiter précisément les zones contaminées après un accident ou un attentat radiologique et des moyens robotisés ont été mis en œuvre pour intervenir à la place de l'Homme. Dans ce contexte, le SPRA est capable également d'assurer en toutes circonstances la surveillance radiotoxicologique du personnel de la Défense exposé à un risque de contamination interne par des radionucléides. Il possède des laboratoires mobiles aérotransportables projetables en France comme à l'étranger, susceptibles d'être déployés sous l'autorité du chef d'état-major des armées mais également à la demande des autorités civiles.

Enfin, les voies de recherche sont nombreuses. Elles concernent notamment la radiosensibilité individuelle, bien connue des radiothérapeutes. A terme, une sélection des sujets soumis à des environnements extrêmes avec forts débits de dose (par exemple, pour les vols spatiaux habités vers Mars) pourrait être envisagée avec, bien entendu, toutes les précautions éthiques nécessaires. De nombreux travaux portent également sur les substances radio-protectrices sur des axes véritablement nouveaux par rapport à ceux qui avaient été menés dans les années 70 : ainsi, une publication de 2011 [12] montre qu'une fluoroquinolone, associée à une petite protéine antibactérienne appelée BPI (Bactericidal/permeability-increasing protein) aurait une action préventive mais aussi prolongée jusqu'à 24 heures après l'irradiation.

5. Conclusion

Le terme « environnement extrême » peut recouvrir des réalités très diverses. Son dénominateur commun, au cours de ce voyage des profondeurs des océans jusqu'aux espaces intersidéraux, pourrait être un décalage entre la doctrine couramment admise, fortement marquée par la pratique habituelle en mode non dégradé, et la réalité de terrain.

Devant une telle diversité, l'efficacité impose de mettre en place et de promouvoir des collaborations avec des interlocuteurs peu accoutumés à travailler ensemble. C'est d'ailleurs un des principaux éléments du retour d'expérience de Fukushima. Ces collaborations qui commencent tout juste à éclore permettent de développer, dans toute la mesure du possible, une interopérabilité particulièrement utile dans des circonstances exceptionnelles.

Dans ce dispositif, le SSA a une fonction majeure du fait de l'étendue de ses capacités techniques, de ses facultés d'adaptation face à l'inconnu et de sa remarquable réactivité.

Dans la pratique, il paraît illusoire, voire dangereux, d'essayer de cerner avec exhaustivité tous les scénarios possibles en environnement extrême. Ceci pourrait en effet conduire à s'enfermer dans des schémas stériles et improductifs. En revanche, avoir une idée précise des priorités et des enjeux, activer les bons interlocuteurs au bon moment, entretenir et tester régulièrement ses capacités de réactivité et d'adaptation sont autant de moyens pour faire face avec efficacité.

Vouloir tout connaître à l'avance est illusoire mais, comme nous le rappelle aussi Léonard de Vinci : « Ne pas prévoir, c'est déjà gémir ».

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de la leçon de 24 heures (par ordre alphabétique) : Sandra Bohand, Hubert de Carbonnières, Alain Cazoulat, Patrick Duhamel, Fabrice Entine, Gérald Gagna, Laurent Géraut, Éric Gontier, Pierre Laroche, Yannick Lecompte, Xavier Michel, Daniel Schoulz.

Références bibliographiques

[1] Laroche P, de Carbonnières H. Terrorisme radiologique. Collection Médecine des Risques – Paris ; Elsevier 200 : 120 pages.

[2] Laroche P, Gagna G, Castagnet X, Amabile JC. Risque radiologique : prise en charge médicale des victimes d'accidents radiologiques. EMC – Médecine d'urgence 2013;8(4):1-12 [Article 25-030-H-60].

[3] Cavallo JD, Fuilla C, Dorandeu F, Laroche P., Vidal D. Les risques NRBC-E : savoir pour agir. Édition Xavier Montauban, 2010: 336 pages.

[4] Gagna G, Amabile JC, Anziani P, Michel X, Rivière F, Padilla A, et al. Expertise médicale des pathologies radio-induites dans le cadre des pensions militaires d'invalidité. Médecine et Armées 2011;39:81-8.

[5] Instruction n° 4916/DEF/CAB du 30 mars 2009, modifiée le 31 décembre 2010, relative aux dispositions communes en matière de protection radiologique du personnel du ministère de la Défense.

[6] Nénot JC, Gourmelon P. Les accidents dus aux rayonnements ionisants. Publication IRSN, 2007:79 pages.

[7] Castagnet X, Amabile JC, Lafferrerie C, Cazoulat A, Laroche P. Risque radiologique en opération extérieure : prise en charge initiale d'un blessé irradié ou contaminé. Médecine et Armées 2010;38:345-55.

[8] Bohand S, Michel X. Radioprotection opérationnelle au pays du soleil levant. Urgence pratique 2011; Journée NRBC du Val-de-Grâce – numéro hors série:25-6.

[9] Amabile JC, Castagnet X, de Carbonnières H, Laroche P. Surveillance de l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants dans l'Armée de l'air : exemple d'une étude de poste des personnels naviguant sur E3-F. Médecine et Armées 2006;34:399-406.

[10] Amabile JC, Lapeyre E, Bey E, Lataillade JJ, Laroche P. Medical management of radio-contaminated or irradiated wounded: The mission of education of the French Defense Radiation Protection Service. Proceedings of the 2nd International Symposium on Radiation Emergency Medicine. Hirosaki University Graduate School of Health Sciences, Japan, 2010: 27-32.

[11] Risques radiologiques : prise en charge d'un blessé radio-contaminé – Guide pratique du Service de santé des armées destiné aux personnels paramédicaux. Ouvrage collectif, 2008 : 52 pages.

[12] Guinan EC, et al. Bactericidal/Permeability-Increasing Protein (rBPI21) and Fluoroquinolone Mitigate Radiation-Induced Bone Marrow Aplasia and Death. Science Translational Medicine 2011;3:110ra118.doi:10.1126/scitranslmed 3003126.

Place de l'imagerie et perspectives dans la prise en charge des tumeurs malignes des voies aéro-digestives supérieures

Jean Rousset

1. Introduction

Les cancers des voies aérodigestives supérieures (VADS) sont au huitième rang des cancers et représentent 5 % de toutes les tumeurs malignes à travers le monde. L'incidence annuelle est évaluée à 550 000 nouveaux cas et la mortalité à 300 000 décès par an, d'après les données du centre international de recherche contre le cancer. Ces tumeurs sont particulièrement lymphophiles. L'imagerie diagnostique et interventionnelle occupe une place majeure pour la prise en charge de ces patients, non seulement lors du bilan pré-thérapeutique mais aussi pour le traitement et la surveillance des malades traités. Après avoir rappelé les principales caractéristiques épidémiologiques, anatomiques et histologiques de ces tumeurs, nous aborderons dans une deuxième partie l'actualité du rôle de l'imagerie lors des différentes étapes de la prise en charge de ces patients. Nous évoquerons ensuite les perspectives du diagnostic à la surveillance.

2. Généralités

2.1. Épidémiologie et facteurs de risque

Les cancers des VADS arrivent au huitième rang mondial en termes de prévalence ; l'incidence est d'environ 550 000 nouveaux cas par an. Ils sont très largement représentés en France. En effet, l'institut de veille sanitaire a évalué à l'aide du réseau FRANCIM et de l'INSERM, l'incidence des cancers des voies aéro-digestives supérieures en France en 2000 à environ 17 000 cas par an, la classant au quatrième rang en terme d'incidence des cancers. En 2002, ce type de tumeurs était responsable de 6 122 décès (cinquième rang pour la mortalité par cancer) [1]. Ces cancers atteignent les hommes dans approximativement 90 % des cas, avec une importante surmortalité masculine, mais on observe depuis quelques années une augmentation de l'incidence chez les femmes, notamment du fait de la modification des habitudes culturelles.

La consommation d'alcool et de tabac, sont des facteurs de risque authentifiés. De nombreuses études ont de plus mis en évidence leur implication avec une synergie des deux facteurs, intervenant non pas en additionnant leur risque propre mais en les multipliant [2, 3]. L'étude de Doll et al. [4] réalisée en Grande-Bretagne a ainsi démontré que le risque de mortalité par cancer des VADS chez le fumeur par rapport

au non-fumeur passait de 2 à 12. L'implication du cannabis en tant qu'agent carcinogène n'est pas clairement établie. Le cannabis fumé présente un facteur confondant majeur pour les études épidémiologiques, car il est mélangé avec du tabac et diverses résines pouvant contenir différents produits carcinogènes.

Le rôle de certains virus dans la survenue des carcinomes épidermoïdes des VADS est également décrit. L'Epstein-Barr Virus (EBV), transmissible principalement par la salive, est connu comme facteur de risque de cancer du nasopharynx (cancer fréquent en Afrique du Nord et en Asie du Sud, plus rare en France) ; l'*Human Papilloma Viru*s (HPV), sexuellement transmissible, est quant à lui de plus en plus incriminé en tant que facteur de risque de cancer de la cavité orale et de l'oropharynx.

Enfin, d'autres facteurs peuvent augmenter le risque de survenue de ces cancers, notamment certaines expositions professionnelles (amiante, nickel, chrome, hydrocarbures, peintures, poussières de bois), des traumatismes chroniques, des facteurs héréditaires, une mauvaise hygiène bucco-dentaire et certaines habitudes alimentaires (aliments salés, carences vitaminiques).

2.2. Anatomie

Les VADS sont le siège de trois grandes fonctions : la respiration, l'alimentation et la phonation. La complexité anatomique et fonctionnelle de cette région peut être schématiquement représentée en la subdivisant en plusieurs étages :

- la cavité orale : elle est divisée par les arcades dentaires en deux parties, le vestibule oral et la cavité orale propre. Elle est limitée en avant par les lèvres, en haut par le palais, en bas par la sangle mylo-hyoïdienne, et s'ouvre en arrière sur l'oropharynx, dont elle est séparée par le plan des arcs palato-glosses ;

- le pharynx : il est divisé anatomiquement en trois parties. De haut en bas, on trouve ainsi :

• le nasopharynx, aussi appelé rhinopharynx ou cavum, limité en avant par les choanes olfactives ; ses parois latérales et postérieure le séparent respectivement des espaces latéro- et rétro-pharyngiens, et sa limite inférieure est constituée du plan du palais,

• l'oropharynx s'ouvre en avant sur la cavité orale ; sa paroi postérieure répond à l'arc antérieur de l'atlas et au corps des vertèbres C2 et C3, et il s'étend en bas jusqu'au plan de l'os hyoïde, limite avec l'hypopharynx,

• l'hypopharynx, aussi appelé laryngo-pharynx, est situé derrière le larynx et se rétrécit rapidement, se continuant en bas par l'œsophage. En arrière, il répond aux vertèbres C4, C5, et C6 ;

- le larynx : il est situé à la partie antérieure et moyenne du cou, il est oblique en bas et en arrière. Il peut être divisé en trois étages :

• l'étage supra-glottique, comprenant l'épiglotte, les replis ary-épiglottiques, les cartilages aryténoïdes, et les bandes ventriculaires,

- l'étage glottique, comprenant les cordes vocales, les commissures antérieure et postérieure,
- l'étage sous-glottique, comprenant l'espace situé entre le plan des cordes vocales et celui du premier anneau trachéal.

Les nœuds lymphatiques cervicaux se répartissent anatomiquement en six groupes: le cercle péricervical, la chaîne jugulaire antérieure, la chaîne jugulaire externe, les groupes latéraux profonds du cou (triangle de Rouvière), le groupe cervical profond juxta-viscéral et le tronc collecteur des lymphatiques de la tête et du cou. Une classification commune radio-chirurgicale pour l'étude de l'envahissement ganglionnaire cervical a été décrite par Robbins et al. [5], basée sur des territoires de drainage précis. Elle comprend six niveaux de classification notés de I à VI, certains groupes étant subdivisés en sous-groupes A et B.

À noter que les lymphonoeuds rétro-pharyngés, occipitaux, mastoïdiens, parotidiens, faciaux, buccinateurs et médiastinaux supérieurs ne sont pas pris en compte dans cette classification.

3. Histologie

Les carcinomes épidermoïdes des VADS, qui reproduisent de façon plus ou moins élaborée la structure d'un épithélium malpighien, représentent 95 % des types histologiques des tumeurs malignes diagnostiquées en oto-rhino-laryngologie. Ils concernent les lésions de la cavité orale, l'oropharynx, l'hypopharynx, le larynx, et de façon moins fréquente le nasopharynx et les cavités sinusales. Leur lymphophilie est élevée, le drainage lymphatique se faisant selon la localisation de la lésion primitive. Un carcinome malpighien est presque toujours développé à la surface d'un organe. Macroscopiquement, il peut se présenter sous une forme végétante, infiltrante ou ulcérée, et souvent sous forme mixte ulcéro-végétante ou ulcéro-infiltrante. Microscopiquement, on distingue des lésions différenciées, peu différenciées, indifférenciées ou anaplasiques, en fonction de la maturation (correspondant à une différenciation cornée ou kératinisation) et de l'existence ou non de ponts d'union. Les autres types histologiques moins fréquents sont les carcinomes adénoïdes kystiques et le lymphome notamment.

4. Actualités

4.1. Affirmer la tumeur

4.1.1. Diagnostic positif

Le diagnostic positif est le plus souvent clinique ou endoscopique (figures 1 et 2). Toutefois dans un certain nombre de cas c'est l'imagerie qui permettra ce diagnostic. Ce peut être le cas dans les tumeurs indifférenciées du nasopharynx. En effet celles-ci

peuvent se développer en profondeur à partir du fond des récessus pharyngés échappant ainsi à l'examen clinique. Dans ce cas, le diagnostic positif peut être fourni par l'IRM qui permet l'étude des espaces profonds. Dans d'autres cas, de très petites tumeurs du récessus piriforme peuvent échapper à l'examen par naso-fibroscopie et se révéler par un examen tomodensitométrique correctement réalisé avec manœuvre dynamique de Valsalva (figure 3). L'optimisation du protocole d'imagerie est indispensable pour

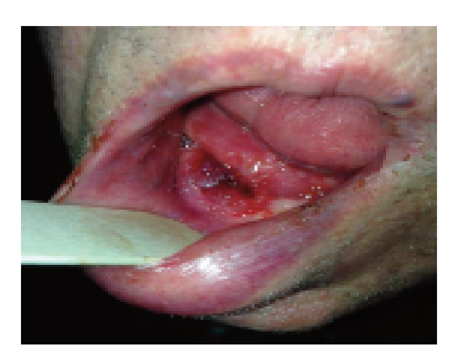


Figure 1.
Détection par l'examen clinique d'une lésion ulcérée suspecte du plancher buccal droit.



Figure 2.
Détection par l'endoscopie d'une lésion bourgeonnante suspecte du pli vocal droit.

Figure 3.
Bilan d'une volumineuse adénopathie nécrotique territoire III D. Une petite tumeur T1 du recessus piriforme droit est démontrée par le scanner avec manœuvre de Valsalva.

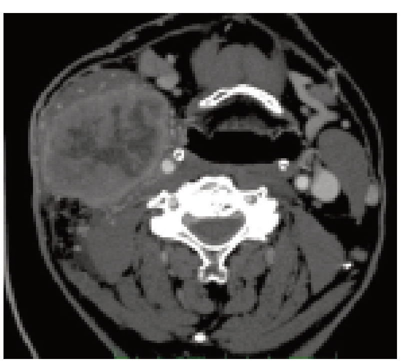
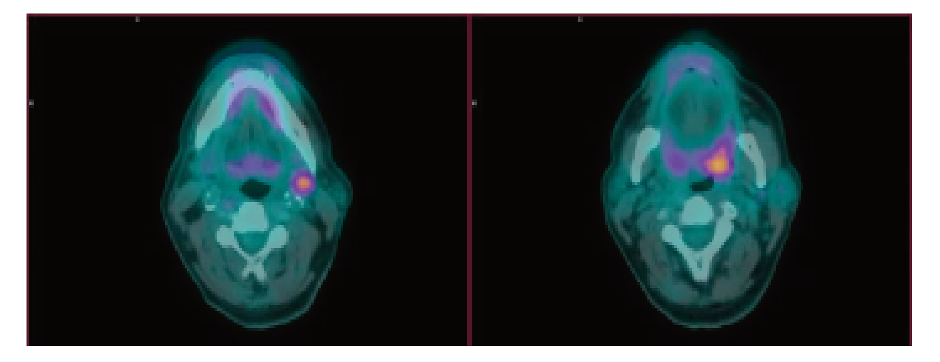


Figure 4.
Carcinome tonsillaire gauche identifié par le 18FDG TEP/TDM lors du bilan d'une adénopathie métastatique IIAG.



correctement détecter une tumeur de petite taille dans ce cas. Une autre situation fréquente est la recherche de carcinome primitif lors du bilan des CUP (*Carcinoma of Unknown Primitif*). L'examen de choix dans cette indication est la 18FDG TEP/TDM qui permet de mettre en évidence la tumeur primitive dans environ 30 % des cas (5-54 %) [6] (figure 4).

4.1.2. Bilan d'extension

Le bilan d'extension a pour but de réaliser la stadification de la lésion tumorale et d'établir son opérabilité. Une pan-endoscopie des VADS permet d'étudier l'extension tumorale, de réaliser des biopsies dirigées et de rechercher une autre localisation au niveau des VADS. L'examen clinique recherche également des signes fonctionnels pulmonaires, viscéraux, osseux et neurologiques, en vue de détecter une dissémination métastatique. Un bilan para-clinique doit être proposé.

4.1.2.1 Bilan loco-régional

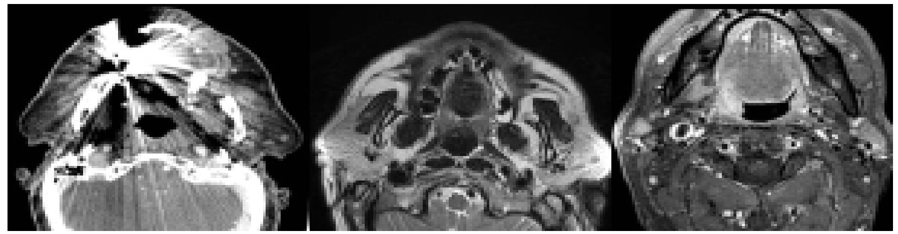
Il a principalement pour but de déterminer si la tumeur est résécable et de détecter l'extension ganglionnaire cliniquement occulte. Le bilan pré-thérapeutique de ces lésions fait l'objet de recommandations de la part de la Société Française de Radiologie et de la Société française d'Oto-Rhino-Laryngologie et de chirurgie de la face et du cou [7]. Il est basé sur l'examen clinique complet (Grade A). Une panendoscopie sous anesthésie générale est également recommandée avec réalisation de biopsies (Grade B).

La tomodensitométrie (TDM) et l'imagerie par résonance magnétique (IRM) sont des explorations complémentaires pour évaluer l'extension d'un envahissement mandibulaire (Grade C).

La TDM cervicale avec injection de produit de contraste iodé est indiquée pour les lésions laryngées ou de l'hypopharynx. Elle doit impérativement comprendre des mesures dynamiques en phonation pour l'étude du larynx ou par manœuvre de Valsalva modifiée pour l'étude de l'hypopharynx. L'exploration doit inclure la base du crâne et s'étendre jusqu'à l'orifice supérieur du thorax. On recommande une injection biphasique avec phases d'imprégnation tumorale. Le patient respire doucement sans bouger.

L'IRM est préférée pour les lésions de la cavité orale, du nasopharynx et de l'oropharynx (Grade C). En revanche, l'indication d'une IRM est exceptionnelle pour

Figure 5.
Même patient, même plan de coupe : importants artefacts de durcissement en TDM pénalisant pour l'analyse de la tumeur de la loge tonsillaire D.



les tumeurs du larynx et de l'hypopharynx. Cet examen se caractérise par un très bon contraste tissulaire et une excellente visualisation anatomique de l'infiltration profonde. C'est l'examen de choix pour l'os trabéculaire. Des séquences sont réalisées de la base du crâne à l'orifice supérieur du thorax pour rechercher dans le même temps l'extension ganglionnaire. L'étude tumorale repose sur les séquences en différentes pondérations et surtout, les trois plans en T1 avec saturation de graisse et injection de gadolinium. L'IRM est beaucoup moins pénalisée par les artéfacts d'origine dentaire (figure 5).

Modalité d'imagerie	Sensibilité	Spécificité
Cytologie guidée par l'échographie	**80 %** (57-92 %)	**98 %** (93-99 %)
Echographie	**87 %** (76-93 %)	**86 %** (74-93 %)
IRM + USPIO	**74 %** (44-91 %)	**88** % (66-96 %)
Scanner	**81 %** (68-90 %)	**76 %** (62-87 %)
IRM	**81%** (65-91 %)	**63 %** (43-80 %)

L'exploration ganglionnaire doit être effectuée dans le même temps en TDM ou en IRM, en fonction des localisations.

Un complément d'exploration est parfois réalisé en échographie avec cytoponction. Toutefois dans certaines localisations particulièrement lymphophiles, le curage ganglionnaire chirurgical est la règle même en l'absence de signe d'extension ganglionnaire. Les valeurs de sensibilité et spécificité des différentes techniques d'imagerie morphologique sont rappelées dans le tableau 1 [8].

4.1.2.2 Bilan général

Au moment du diagnostic, 10 % des patients présentent des métastases à distance et pour la plupart au sein des poumons. Un scanner thoracique doit donc être systématiquement réalisé sauf si le stade de la tumeur est avancé (T3-4, N1-3). Dans ce cas, il convient de réaliser une 18FDG TEP/TDM. Les éventuelles tumeurs synchrones bronchopulmonaires (7 %) seront détectées par ces deux examens.

La fibroscopie bronchique n'est pas systématique. Les localisations synchrones de l'œsophage ne seront recherchées par fibroscopie qu'en cas de localisations à haut risque (hypopharynx ou oropharynx) ou d'intoxication alcoolique chronique. D'autres examens vont d'une part compléter ce bilan général (ionogramme sanguin, urémie et créatininémie, bilan hépatique, calcémie) et d'autre part être intégrés dans le bilan pré-opératoire (NFS, plaquettes, Groupage sanguin ABO et Rhésus, exploration fonctionnelle respiratoire, bilan nutritionnel).

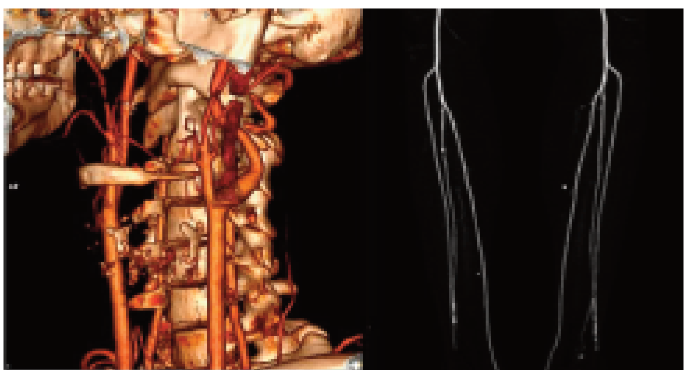


Figure 6. Évaluation de la qualité des vaisseaux receveurs et donneurs avant chirurgie de reconstruction par angioTDM.

4.1.3. Bilan pré-chirurgical avant reconstruction

En cas de chirurgie de reconstruction après exérèse tumorale, l'imagerie contribue à évaluer la qualité du site receveur et du site donneur notamment pour ces patients à risque cardio-vasculaire. L'angioscanner ou l'angio-IRM permettent d'apprécier la perméabilité et les parois des vaisseaux cervicaux receveurs et celle de l'artère fibulaire en cas de lambeau de fibula (Grade C) (figure 6). Un doppler du membre supérieur est parfois réalisé avant le prélèvement d'un lambeau antebrachial.

4.2. Traiter le cancer

La radiologie interventionnelle, par les techniques de thermo-ablation présente un intérêt indiscutable, non pas pour le traitement de la tumeur primitive mais pour celui de métastases pulmonaires ou encore de tumeurs broncho-pulmonaires synchrones chez les patients non opérables. Elle est indiquée soit par l'utilisation de courant de radiofréquence (400 à 500 kHz), soit par micro-ondes (900 à 2400 MHz) idéalement pour des lésions de moins de 3 cm. Le contact lésionnel avec des vaisseaux de plus de 3 mm de diamètre double le taux d'échec par phénomène de convection.

Pour des patients souffrant de névralgies du nerf trijumeau secondaires, induites par la tumeur primitive, la radiologie interventionnelle en cas d'échec du traitement conventionnel par carbamazépine ou thermocoagulation chirurgicale du ganglion de Gasser, permet d'effectuer une neurolyse par alcool absolu ou radiofréquence du ganglion trigéminal dans la fosse ptérygo-palatine [9].

D'autre part des complications hémorragiques peuvent survenir après la radiothérapie ou la chirurgie, par brèche vasculaire ou formation de pseudo-anévrismes des branches artérielles du réseau carotidien. Là encore la radiologie interventionnelle par les techniques d'embolisation (*coils,* cyanoacrylate,...) intervient pour le traitement.

4.3. Surveiller le patient

Une imagerie post-thérapeutique est recommandée trois à six mois après la fin du

traitement à la recherche d'un reliquat lésionnel et pour servir d'imagerie de référence pour le suivi [7]. Les valeurs de sensibilité et spécificité sont diversement appréciées dans la littérature. L'IRM serait plus sensible mais moins spécifique dans cette indication [10]. L'analyse de l'imagerie morphologique est rendue difficile par les conséquences de la radiothérapie ou de la chirurgie de reconstruction. La 18FDG TEP/TDM, examen de choix dans cette indication du fait de son excellente fiabilité et sa très haute valeur prédictive négative, est indiquée notamment si la TDM ou l'IRM réalisées ne sont pas contributives [7].

5. Perspectives

5.1. Affirmer la tumeur

En médecine nucléaire, de nouveaux traceurs de la prolifération cellulaire, comme le FLT (3'-désoxy-3'-18F-fluorothymidine) et le FET (18F-fluoroéthyltyrosine) permettront d'améliorer le diagnostic positif de ces tumeurs. L'exactitude diagnostique est la même que le 18FDG mais avec nettement moins de faux positifs [11].

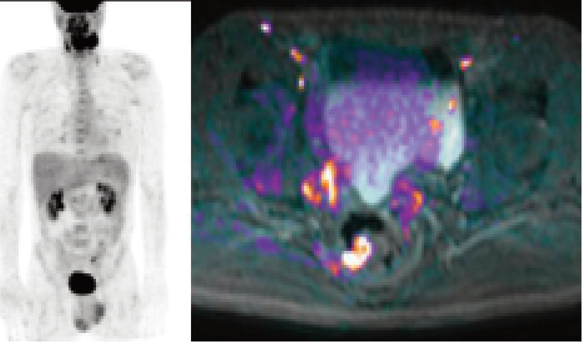


Figure 7.
Détection en IRM corps entier d'une tumeur synchrone du rectum dans le bilan d'un carcinome de l'hypopharynx T4N2M0.

L'IRM corps entier n'est pour l'instant pas évaluée dans le bilan général d'extension de ces tumeurs. Il n'existe pas de données dans la littérature récente. Néanmoins, comme pour d'autres tumeurs solides, elle permettrait de détecter les métastases et tumeurs synchrones (figure 7). Son indication reste à évaluer dans des études prospectives multicentriques.

5.2. Traiter le cancer

Le champ d'irradiation en radiothérapie pour ces cancers est généralement délimité sur une tomodensitométrie quelle que soit la localisation. Le recalage intra-modalités (IRM et TEP/TDM) permettrait de mieux cibler la délivrance de la dose sur la tumeur et non sur le tissu sain de voisinage. De plus des traceurs spécifiques de l'hypoxie en médecine nucléaire comme le 18F-MISO et l'adaptation thérapeutique en radiothérapie avec modulation d'intensité (IMRT) rendent possible l'augmentation de dose au niveau de la tumeur sans dépassement de seuil de toxicité sur le tissu sain adjacent [12].

Il est d'usage actuellement de réaliser un curage ganglionnaire systématique pour certaines localisations particulièrement lymphophiles comme la langue ou le voile. Or,

de 20 à 30 % de ces curages sont indemnes de toute localisation ganglionnaire métastatique. Certaines techniques avancées d'IRM comme l'utilisation systématique de l'imagerie de diffusion, permettront peut-être de limiter la pratique de ces curages et de faire baisser la proportion de curages « blancs » [13].

Des techniques de radiologie interventionnelle plus récentes sont amenées à se développer pour le traitement des lésions pulmonaires primitives synchrones et des métastases chez les patients non opérables. La cryothérapie peut ainsi être effectuée plus facilement sous anesthésie locale ; elle consiste en la destruction tissulaire par refroidissement à -40°C grâce à l'argon. Le volume de destruction tumorale est toutefois plus petit qu'avec les techniques classiques de radiofréquence ou micro-ondes. L'électro-poration irréversible est également une technique reposant sur l'ouverture définitive du pore cellulaire par un champ électrique de haute intensité. Cette technique est moins sensible que la thermo-ablation conventionnelle au phénomène de convection lorsque la tumeur est au contact des vaisseaux de plus de 3 mm de diamètre. D'autre part, il est possible d'associer les modalités entre elles comme par exemple la cryothérapie et la cimentoplastie pour les métastases osseuses.

5.3. Surveiller le patient

Les recommandations actuelles de la Société française d'ORL sont laconiques sur l'utilisation des différentes techniques d'imagerie pour la surveillance de patients traités.

Une étude menée dans le CHRU de Brest a permis de montrer que lorsqu'une 18FDG TEP/TDM était réalisée de façon systématique un an après la fin du traitement, elle permettait de mettre en évidence une récidive cliniquement et endoscopiquement

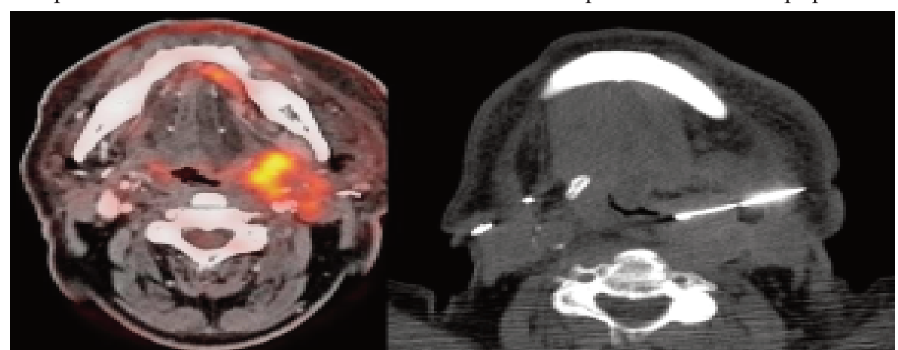


Figure 8.
Récidive profonde d'un carcinome le la loge tonsillaire G (18FDG TEP/TDM et micro-biopsie sous TDM).

occulte dans 30 % des cas [14]. La valeur prédictive négative de cet examen est excellente mais se pose le problème de certains faux positifs. La radiologie interventionnelle par la réalisation de microbiopsies guidées en tomodensitométrie ou en échographie permet de trancher dans ces situations délicates (figure 8). Ces microbiopsies sont particulièrement utiles si les biopsies muqueuses réalisées par le chirurgien ORL demeurent négatives alors que le18FDG TEP/TDM révèle unhypermétabolisme suspect [15].

6. Conclusion

Chaque étape de la prise en charge des tumeurs malignes des voies aéro-digestives supérieures intéresse l'imagerie diagnostique morphologique et fonctionnelle. La radiologie interventionnelle joue également un rôle de choix, essentiellement pour les récidives profondes sous-muqueuses et le traitement des métastases et tumeurs broncho-pulmonaires synchrones chez les patients inopérables.

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de la leçon de 24 heures (par ordre alphabétique) : Ronan Abgral, Jean-Marc Delmas, Yann Feuvrier, Marc Garetier, Marion Lahutte, C. Laot, S. Le Goff, Julien Potet, Valentin Tissot, Pierre-Yves Vaillant, Gérald Valette.

Références bibliographiques

[1] Hill C, Doyon F. The frequency of cancer in France in year 2002, and trends since1968. Bull Cancer 2006;93:7-11.

[2] Tuyns AJ, Estève J, Raymond L, Berrino F, Benhamou E, Blanchet F, et al. Cancer of the larynx/hypopharynx, tobacco and alcohol: IARC international case-control study in Turin and Varese (Italy), Zaragoza and Navarra (Spain), Geneva (Switzerland) and Calvados (France). Int J Cancer 1988 ;41:483-91.

[3] Rothman K, Keller A. The effect of joint exposure to alcohol and tobacco on risk of cancer of the mouth and pharynx. J Chronic Dis 1972;25:711-6.

[4] Doll R, Peto R. Mortality in relation to smoking: 20 years' observations on male British doctors. Br Med J 1976;2:1525-36.

[5] Robbins KT, Clayman G, Levine PA, Medina J, Sessions R, Shaha A, et al. Neck dissection classification update: revisions proposed by the American Head and Neck Society and the American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 2002;128:751-8.

[6] Roh JL, Kim JS, Lee JH, Cho KJ, Choi SH, Nam SY, et al. Utility of combined (18)F-fluorodeoxyglucose-positron emission tomography and computed tomography in patients with cervical metastases from unknown primary tumors. Oral Oncol 2009;45:218-24.

[7] Guide pour le bon usage des examens d'imagerie médicale. Cancer des voies aéro-digestives supérieures. Société Francaise de Radiologie. SFR 2012

[8] de Bondt RB, Nelemans PJ, Hofman PA, Casselman JW, Kremer B, van Engelshoven JM, et al. Detection of lymph node metastases in head and neck cancer: a meta-analysis comparing US, USgFNAC, CT and MR imaging. Eur J Radiol 2007;64:266-72.

[9] Grégoire A, Clair C, Delabrousse E, Aubry R, Boulahdour Z, Kastler B. CT guided neurolysis of the sphenopalatine ganglion for management of refractory

trigeminal neuralgia. J Radiol 2002;83:1082-4.

[10] Ljumanovic R, Langendijk JA, Hoekstra OS, Knol DL, Leemans CR, Castelijns JA. Pre- and post-radiotherapy MRI results as a predictive model for response in laryngeal carcinoma. Eur Radiol 2008;18:2231-40.

[11] Hoshikawa H, Kishino T, Mori T, Nishiyama Y, Yamamoto Y, Mori N. The value of 18F-FLT PET for detecting second primary cancers and distant metastases in head and neck cancer patients. Clin Nucl Med 2013;38:e318-23.

[12] Vandecaveye V, De Keyzer F, Dirix P, Lambrecht M, Nuyts S, Hermans R. Applications of diffusion-weighted magnetic resonance imaging in head and neck squamous cell carcinoma. Neuroradiology 2010;52:773-84.

[13] Lee FK, Yip CW, Cheung FC, Leung AK, Chau RM, Ngan RK. Dosimetric difference amongst 3 techniques: TomoTherapy, sliding-window intensity-modulated radiotherapy (IMRT), and RapidArc radiotherapy in the treatment of late-stage nasopharyngeal carcinoma (NPC). Med Dosim 2014 ;39:44-9.

[14] Abgral R, Querellou S, Potard G, Le Roux PY, Le Duc-Pennec A, Marianovski R, et al. Does 18F-FDG PET/CT improve the detection of posttreatment recurrence of head and neck squamous cell carcinoma in patients negative for disease on clinical follow-up? J Nucl Med 2009;50:24-9.

[15] Rousset J, Abgral R, Chinellato S, Garetier M, Barberot C, Valette G, et al. Early recurrence or submucosal residual of laryngeal squamous cell carcinoma: diagnosis by CT-guided endolaryngeal core biopsy on a transcutaneous approach. Head Neck 2013 ;35:E202-4.

Chaire d'épidémiologie, santé publique et prévention appliquées aux armées

Notion de pénibilité en médecine du travail : application au personnel militaire

Jean-François Ferrand

1. Introduction

Dans sa définition sémantique, la pénibilité est ce qui se fait avec peine et exige un effort. Il existe d'autres approches, la pénibilité serait d'une part un facteur de souffrance et d'autre part, elle réduirait l'espérance de vie et/ou entraînerait une dégradation de la santé. Il s'agit le plus souvent d'une notion issue d'une construction sociétale, subjective et multifactorielle. Cette notion est revenue au devant de la scène à l'occasion des débats sur la réforme des retraites. Il s'agit toutefois d'une notion ancienne. En effet, Louis-René Villermé (figure 1), ancien médecin des armées napoléoniennes, qui fut un des pionniers de la médecine du travail, utilisait dès 1831 ce terme de pénibilité à propos de certaines professions comme celles des tisserands, des ouvriers des manufactures de laine et de coton ainsi que lorsqu'il s'agissait du travail des enfants. Très sensibilisé aux conditions de travail, Louis-René Villermé fut le promoteur des premières lois de médecine du travail en France.

Pour aborder la complexité de cette approche particulière du milieu de travail nous verrons successivement la notion de pénibilité dans sa conception actuelle, puis nous détaillerons les situations dans lesquelles les militaires sont confrontés à la pénibilité et nous terminerons par la présentation des dispositifs existants et les perspectives de gestion de la pénibilité pour les personnels militaires.

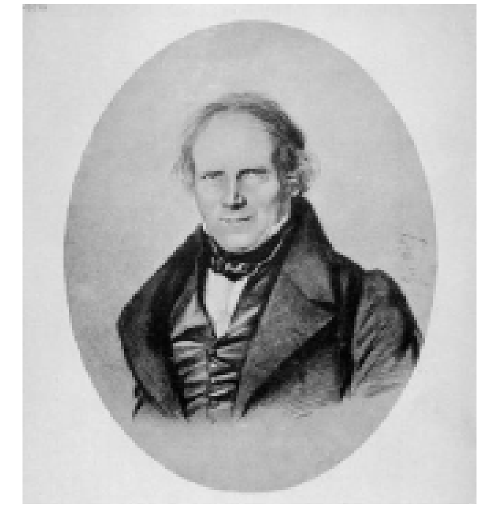


Figure 1.
Louis-René Villermé.

2. Notion de pénibilité

2.1. La loi portant réforme des retraites

Dans l'optique d'assurer la pérennité du système de financement de la branche retraite par la Sécurité sociale, les projets de réforme prévoient le report de l'âge légal de départ à la retraite. Dès la première loi n°2003-775 du 21 août 2003 portant réforme des retraites, il a fallu penser au devenir des travailleurs « usés » face aux impératifs d'une carrière professionnelle allongée. Les partenaires sociaux ont donc été invités à la négociation sur la définition et la prise en compte de la « pénibilité au travail ». Des négociations interprofessionnelles sont menées de février 2005 à juillet 2008. Mais malgré un projet d'accord en date du 16 juillet 2008, les négociations échouent. Le législateur intervient alors en promulguant la loi n°2010-1330 du 9 novembre 2010 portant réforme des retraites. Cette loi s'applique aux salariés du régime général et aux salariés et non salariés du régime agricole. Elle relève l'âge de départ à la retraite de 60 à 62 ans. Pour la partie de cette loi inscrite dans le Code de la sécurité sociale est prévu un droit à compensation, sous forme d'une retraite anticipée à taux plein. Deux situations justifient l'application de cette compensation. Soit, il s'agit de personnes justifiant d'un taux d'incapacité permanente au moins égal à 20 % reconnu au titre d'une maladie professionnelle ou d'un accident du travail. Ce taux d'incapacité peut-être obtenu par l'addition de plusieurs taux sous réserve qu'un taux d'incapacité permanente au moins égal à 10 % ait été reconnu au titre d'une même maladie professionnelle ou d'un même accident du travail. Dans ce cas de figure, il n'est exigé aucune exposition à un quelconque facteur de pénibilité au cours de la vie professionnelle passée. Soit par reconnexion de la retraite anticipée aux critères de pénibilité. Il s'agit alors des personnes qui ont un taux d'incapacité permanente compris entre 10 et 20 %, sous réserve qu'elles puissent prouver qu'elles ont été exposées pendant au moins 17 ans aux facteurs de pénibilité et qu'une commission pluridisciplinaire créée spécialement, se prononce favorablement sur le lien entre l'incapacité et cette exposition. Ce seuil de 10 % doit correspondre aux conséquences d'une même maladie professionnelle ou d'un même accident du travail.

2.2. L'intégration dans le Code du travail

De par ses implications en amont, cette loi a entraîné une modification du Code du travail. On y retrouve la définition de la pénibilité, la liste des nuisances générant de la pénibilité et en conséquence les nouvelles obligations qui en découlent pour l'employeur et pour les services de santé au travail.

Ainsi, selon l'article L. 4121-3-1 du Code du travail, la définition légale de la pénibilité est :

« l'exposition à un ou plusieurs facteurs de risque professionnels susceptibles de laisser des traces durables, identifiables et irréversibles sur la santé ».

Les facteurs de pénibilité déterminés par décret se rapportent à trois familles de risques :

• contraintes physiques marquées :
  - les manutentions manuelles de charges définies à l'article R. 4541-2 ;
  - les postures pénibles définies comme positions forcées des articulations ;
  - les vibrations mécaniques mentionnées à l'article R. 4441-1.

• environnement agressif :
  - les températures extrêmes ;
  - les agents chimiques dangereux mentionnés aux articles R. 4412-3 et R. 4412-60, y compris les poussières et les fumées ;
  - le bruit mentionné à l'article R. 4431-1 ;
  - les activités exercées en milieu hyperbare définies à l'article R. 4461-1.

• contraintes liées aux rythmes de travail :
  - le travail de nuit dans les conditions fixées aux articles L. 3122-29 à L. 3122-31 ;
  - le travail en équipes successives alternantes ;
  - le travail répétitif caractérisé par la répétition d'un même geste, à une cadence contrainte, imposée ou non par le déplacement automatique d'une pièce ou par la rémunération à la pièce, avec un temps de cycle défini.

Ces facteurs de pénibilité vont être pris en compte sous condition. Cette condition, c'est que l'exposition soit significative. Il en résulte la première difficulté : en effet, ce qui est évident à juger pour le travail de nuit défini dans le Code du travail, est plus difficile à estimer pour une exposition telle que la manutention pour laquelle un seuil réglementaire correspondant n'est pas défini.

La transposition dans le Code du travail met en place de nouvelles obligations pour l'employeur qui doit assurer la traçabilité des expositions au travers de la fiche de prévention des expositions à la pénibilité. Fiche réalisée sur le principe des fiches d'exposition utilisées pour le risque chimique, elle prend en compte les facteurs de risque d'exposition, la période de survenue de l'exposition ainsi que les mesures de prévention qui vont être mises en œuvre, qu'il s'agisse des mesures organisationnelles ou techniques, collectives ou individuelles ; cela est fait en cohérence avec le document unique d'évaluation des risques.

En complément des principes généraux de prévention qui font que l'employeur doit assurer et protéger la santé physique et mentale des travailleurs, l'employeur doit donc prévenir la pénibilité au travail en mettant en œuvre des actions concrètes. Il élargit en conséquence la mission du Comité d'hygiène, sécurité et conditions de travail (CHSCT) au cadre de l'analyse de l'exposition des salariés à des facteurs de pénibilité et est obligé de mettre en place une négociation collective ou un plan d'actions lorsque l'entreprise a plus de 50 personnels et que plus de 50 % des personnels sont exposés à au moins un facteur de pénibilité.

Pour les services de santé au travail, l'implication dans la prévention de la pénibilité est accentuée, en cohérence avec la réforme de la médecine du travail. Cette

notion figure dans la loi n° 2011-867 du 20 juillet 2011 relative à l'organisation de la médecine du travail. Cette loi comprend les missions habituelles telles que celle de conseil à l'employeur mais surtout l'obligation de prise en compte, en plus des risques habituels, des facteurs de pénibilité et une évolution du Dossier médical en santé au travail (DMST), en matière de traçabilité des pathologies et des expositions. Ce dernier point répondra aux recommandations de la Haute Autorité de Santé (HAS) qui visent à faire du DMST le réceptacle des données médicales et des expositions professionnelles. Dans ce cadre, le médecin du travail insèrera dans le DMST une copie de la fiche réglementaire de prévention des expositions à la pénibilité.

2.3. La transposition au ministère de la Défense

Pour ce qui est des règles administratives, elles sont par nature spécifiques au ministère de la défense, notamment du fait de l'existence du statut général des fonctionnaires et des militaires. En revanche, rappelons qu'en matière de santé et sécurité au travail, au ministère, les règles techniques des livres I à V de la quatrième partie du Code du travail sont transposées, dont celles relatives à la pénibilité. D'ailleurs, le principe figure dans le nouveau décret n° 2012-422 du 29 mars 2012 relatif à la santé et à la sécurité au travail au ministère de la défense, qui s'adresse à la fois à l'employeur militaire et au service de médecine de prévention du ministère mis en place pour les personnels civils. Les militaires sont inclus dans ce dispositif dès lors qu'ils exercent des activités de même nature que les agents civils, y compris sur les théâtres d'opérations extérieures. Cependant du fait des impératifs du combat, ce même décret prévoit en son article 36 la possibilité d'une adaptation des règles à l'environnement opérationnel.

Pour assurer la traçabilité, des dispositions spécifiques sont donc mises en place, il s'agit essentiellement de la fiche emploi nuisances (FEN). Cette fiche est l'équivalent de la fiche de prévention des expositions prévue pour les salariés du régime général. Elle inclut donc les facteurs de pénibilité et les mesures de prévention adéquates. Cette fiche est remplie et visée par l'employeur, elle sert de support d'information au personnel militaire qui la vise lorsqu'il en prend connaissance.

En résumé, cette notion de pénibilité n'est pas nouvelle mais l'évolution sociétale lui a donné un statut s'inscrivant dans un ensemble de corpus réglementaires qui s'articulent entre eux.

Nous allons maintenant tenter de répondre à la question : « En quoi le métier de militaire est-il pénible ? ».

3. Situation en milieu militaire

3.1. Des contraintes physiques marquées

Prenons l'exemple d'un militaire équipé du système Félin (fantassin à équipements et liaisons intégrés) (figure 2). Cet équipement comprend un ostéophone et un système

de géolocalisation (GPS) afin d'améliorer la coordination et les mouvements au sein d'un groupe de combat. Très adapté aux opérations urbaines, il dispose d'un fusil d'assaut équipé de caméras jour/nuit et d'une visée déportée pour tirer sans se découvrir. Ces aides électroniques sont lourdes et à ce matériel, il faut ajouter le poids des batteries pour le faire fonctionner. Félin offre aussi au combattant une protection balistique optimale et modulaire grâce à un gilet en kevlar qui couvre complètement tous ses organes vitaux ainsi que ses épaules et son cou. Il faut encore ajouter le paquetage contenant les boissons et les rations, les munitions et la trousse de secours. Au total l'utilisation de ce système revient à porter en moyenne une cinquantaine de kilogrammes. Aussi, il n'est pas étonnant que les retours d'expérience des médecins militaires affectés dans les forces, rendent compte de la survenue de troubles musculo-squelettiques (TMS) chez les militaires engagés en opération extérieure (OPEX).



Figure 2.
Fantassin équipé d'une tenue Félin (fantassin à équipements et liaisons intégrés).

C'est pourquoi, afin d'identifier plus précisément les facteurs de risque de ces TMS, plusieurs de ces médecins ont initié des enquêtes épidémiologiques. En 2011 par exemple, dans le cadre d'une thèse de médecine générale, une étude de prévalence et des facteurs de risque de TMS a été réalisée dans plusieurs régiments de l'armée de terre [1]. L'enquête transversale utilisait une méthode de sondage en grappe, tirage au sort de quatre régiments au sein de la région terre nord-est puis d'une compagnie par régiment. L'auto-questionnaire, en plus des données sociodémographiques, recueillait grâce au questionnaire « Nordique » [2] la prévalence des TMS, ainsi que des informations sur le port des éléments de la tenue de combat. L'exploitation des 272 réponses a permis de déterminer que 44 % de ces militaires avaient effectué un séjour en OPEX les douze mois précédents, que 45 % déclaraient avoir eu des TMS dans les sept derniers jours concernant essentiellement la région lombaire, le cou et les genoux. Il était retrouvé une association significative entre la survenue de TMS et deux facteurs de risque, d'une part le port du gilet pare-balles plus de douze heures consécutives et d'autre part le port du fusil d'assaut FAMAS plus de douze heures consécutives.

Les postures pénibles sont aussi une constante du métier de fantassin, en particulier au cours des exercices d'aguerrissement avant projection en mission. Durant ces périodes, les militaires vont enchaîner les parcours du combattant et autres pistes de risque, agrémentés de grimpers de corde. Ces exercices vont tous solliciter les articulations des épaules avec des mouvements en abduction au delà d'un angle de 60° (limite retenue dans le tableau des maladies professionnelles n°57 du régime général) et pouvoir être responsables, chez les plus fragiles, d'atteintes de la coiffe des rotateurs.

Pour d'autres emplois militaires comme celui des pilotes d'hélicoptère, l'atteinte concernera particulièrement le rachis cervical. Les lésions surviennent sous l'effet combiné des vibrations, des positions forcées et répétées du rachis, en particulier lors des vols tactiques dans les vallées et du port de casques qui, du fait de l'adjonction de systèmes d'aide à la vision (affichage des données de vol sur la visière, systèmes de vision nocturne), pèsent de plus en plus lourd (figure 3). Les études récentes montrent une prévalence de plaintes des pilotes pour douleurs cervicales régulières de l'ordre de 20 à 30 % [3]. De plus l'intensité de ces douleurs lorsqu'elles surviennent en mission, peut avoir des conséquences sur la sécurité des vols [4].

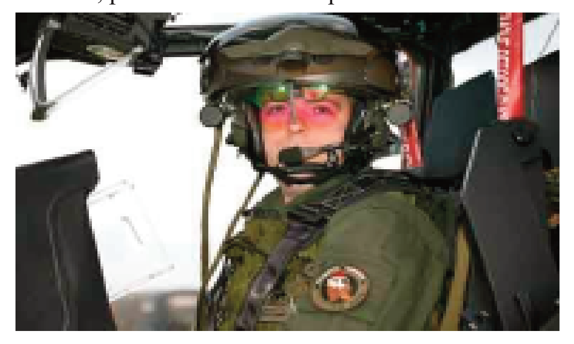


Figure 3.
Pilote de Tigre équipé de son casque.

À ce stade de notre exposé, il est important de rappeler que quelles que soient les contraintes physiques du militaire, elles ont la particularité de pouvoir survenir dans un contexte dégradé qui n'est pas celui des règles d'hygiène et sécurité du temps de paix mais celui des conditions opérationnelles qui se caractérisent par des activités brutales (actions sous le feu), un déficit en sommeil et un état de stress du combattant.

3.2. Un environnement agressif

En effet, l'environnement du militaire en opération peut souvent être qualifié d'agressif. Ce fut le cas en 1991 lors de la première guerre du Golfe où, du fait de l'environnement désertique, les militaires de l'opération « Daguet » étaient exposés à des températures extrêmes. L'amplitude thermique était majeure puisqu'en journée la température était de l'ordre de 40°C alors que la nuit elle descendait jusqu'à -10°C. De plus, l'Irak avait déjà utilisé des armes chimiques lors de la guerre contre son voisin iranien et contre les populations kurdes ; il disposait de missiles « Scud »

potentiellement capables de porter cette menace à distance. Le risque d'attaque chimique était pris très au sérieux et l'entraînement pour s'en protéger était régulier. Cet entraînement nécessitait le port du masque à gaz (appareil normal de protection modèle 51) et du survêtement de protection à port permanent (tenue S3P), équipement qui augmentait considérablement la contrainte thermique (figure 4).



Figure 4.
Soldats français de l'opération Daguet en tenue S3P.

C'est ainsi que parmi les soldats américains, qui portaient des équipements similaires, il avait été observé jusqu'à 13 % de syndromes d'épuisement liés à la chaleur [5] mais aussi du fait des températures nocturnes négatives, des cas de gelures avaient même été décrits [6]. En journée, le risque principal restait celui de l'hyperthermie maligne avec un tableau clinique d'encéphalopathie inconstamment accompagné d'une défaillance multiviscérale engageant le pronostic vital.

Les militaires peuvent aussi être exposés au risque chimique en particulier aux substances ou produits qui en raison de leurs effets observés sur la santé de l'homme ou de l'animal sont qualifiés d'agents chimiques dangereux (ACD) au sens du Code du travail (article R.4412-3). Ceux ci comprennent notamment les agents cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR). Des expositions régulières à ces produits existent déjà sur le territoire national, par exemple dans les menuiseries du ministère de la défense où les poussières de bois sont classées agents cancérogènes de catégorie 1 mais aussi dans les ateliers de mécanique générale et de maintenance. À titre d'exemple, au sein des bases aériennes ou des Ateliers Industriels de l'Aéronautique (AIA) (figure 5), pour la mise en peinture des aéronefs, les produits utilisés de nos jours contiennent encore des isocyanates, responsables d'asthmes professionnels et du chrome hexavalent, agent cancérogène de catégorie 2. Bien que des efforts de substitution aient été réalisés pour les couches extérieures de peinture, la première couche de peinture primaire contient toujours des chromates qui assurent une protection anticorrosion efficace de la structure de l'avion, il s'agit là d'un critère de certification par les instances aéronautiques.

En OPEX, les militaires sont aussi exposés aux agents chimiques. D'une part, du fait hors des phases opérationnelles, d'un exercice professionnel de type atelier

similaire à celui exercé en métropole ; d'autre part du fait de pollutions environnementales. Ce fut le cas lors de la guerre du Golfe en 1991, à l'issue de l'incendie par les irakiens des champs pétrolifères koweïtiens. Ces fumées étaient composées entre autres, de soufre, de composés organiques volatils, d'hydrocarbures aromatiques polycycliques, etc… [7, 8]. En 1999, lors du déploiement des troupes françaises au Kosovo, celles-ci ont séjourné à Mitrovica, à proximité d'une usine de transformation de minerai de plomb. L'alerte sur ce risque environnemental a immédiatement été signalée au commandement par le Service de santé des armées (SSA), des prélèvements atmosphériques ont été réalisés ainsi que près de 7 500 dosages de plombémie dès le retour en métropole. Sur 40 analyses atmosphériques, dix étaient supérieures à la valeur limite moyenne d'exposition professionnelle de 0,1 mg/m^3 et 27 % des plombémies dépassaient le seuil de 200 µg/m^3. Ces résultats et une mission menée conjointement par le SSA et l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) ont permis d'obtenir auprès de la Mission Intérimaire des Nations-Unies au Kosovo (MINUK) la fermeture de l'usine [9].

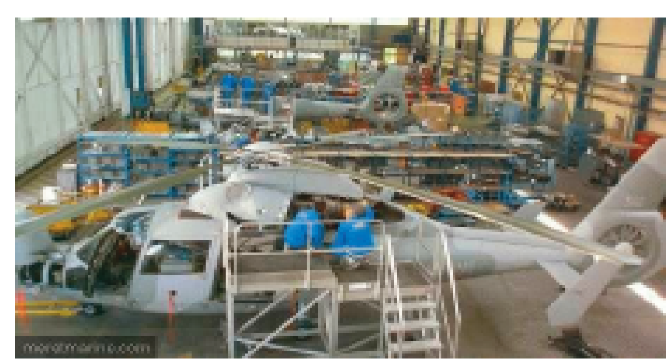


Figure 5.
Atelier Industriel de l'Aéronautique (AIA) de Cuers-Pierrefeu (© : AIACP/P. Merlande).

Enfin, on trouve aussi des situations plus spécifiques. L'exposition au bruit au-delà de 85 dB (A) concerne de façon habituelle environ 30 000 militaires que ce soit sur les parkings d'aéronefs, dans les salles de machines des navires de la Marine nationale ou dans des ateliers. L'autre source d'exposition régulière survient lors du maniement des armes à l'entraînement ou en conditions réelles en OPEX. Chaque année l'exposition au bruit des armes est responsable de 1 000 à 1 200 traumatismes sonores aigus parmi les militaires de l'armée française. Aux États-Unis, la première cause d'infirmité retrouvée chez les vétérans d'Irak ou d'Afghanistan est la perte d'audition [10].

Enfin, même si leur effectif est plus limité, nous retrouvons au sein des forces armées des plongeurs, scaphandriers qui réalisent des activités en milieu hyperbare, dans des conditions quelquefois extrêmes justifiées par les impératifs des missions. Dans le cadre de la sélection médicale ou de l'entraînement de ces militaires, les opérateurs en caisson du SService de santé des armées sont aussi concernés par l'exposition au risque hyperbare.

3.3. Les contraintes liées aux rythmes de travail

Le travail de nuit et/ou le travail posté s'appliquent en particulier au sein des structures hospitalières militaires dans lesquelles l'activité est similaire à celle des hôpitaux civils mais aussi au sein d'équipes assurant une veille opérationnelle permanente dans le cadre du recueil du renseignement ou de la dissuasion nucléaire. Cette veille s'effectue aussi au bénéfice de la régulation et de la sécurité du trafic maritime général, c'est le cas des veilleurs dans les sémaphores de la Marine nationale qui sont en liaison permanente avec les Centres régionaux opérationnels de surveillance et de sauvetage (CROSS). Les personnels militaires qui exercent les activités ci-dessus décrites peuvent répondre aux critères de définition du travail de nuit selon les articles L. 3122-29 à 31 du Code du travail. Selon ces critères, tout travail qui a lieu entre 21 heures et 6 heures est considéré comme du travail de nuit. Le personnel civil ou militaire qui effectue habituellement au moins trois heures de travail quotidien pendant cette période, au moins deux fois par semaine, ou encore qui accomplit un nombre minimal d'heures de travail de nuit (270 heures) pendant une période de référence de douze mois consécutifs doit être considéré comme travailleur de nuit. Du fait de l'organisation du travail en équipe, ces personnels accomplissent souvent le même travail à des heures différentes sur une période donnée de jours ou de semaines, ils effectuent alors un travail dit « posté » ou en équipes successives alternantes.

La surveillance médicale des personnels exposés au travail de nuit prend en compte le risque de troubles du sommeil et de la vigilance, mais aussi le fait qu'il s'agit d'un facteur de risque de troubles cardiovasculaires (11) ainsi qu'un facteur de risque probable de cancer du sein (12), ce dernier risque ne doit pas être négligé alors que le taux de féminisation dans les forces armées françaises est de l'ordre de 15 %.

Bien qu'il y ait de moins en moins de sites industriels au ministère de la défense, il est encore possible d'observer des militaires effectuant des gestes répétitifs sous contrainte de temps, c'est le cas par exemple de l'atelier de pliage des parachutes de l'armée de terre. Dans cet atelier à proximité de Pau, une centaine de personnes civiles et militaires effectuent le pliage et la réparation de tous les parachutes de l'armée de terre. La répétition de gestes au cours desquels l'épaule est maintenue en abduction au-delà de 60° (figure 6) peut conduire à la survenue de TMS avec ici risque d'atteinte préférentielle du muscle supra-épineux. Cette sur-sollicitation articulaire survient aussi de façon régulière lors de chaque déploiement en OPEX lorsque par exemple, les unités de logistique sont en charge de l'acheminement et de l'installation des moyens matériels. C'est alors une véritable course contre la montre qui s'installe afin que l'ensemble des forces soit opérationnel au plus tôt. Pour l'opération Serval débutée en janvier 2013, ce sont 11 000 tonnes de fret qui ont été mobilisées en cinq semaines. Les équipages des camions militaires ont, à cette occasion, traversé le Mali du sud au nord sur des pistes difficilement praticables et ont à de multiples reprises manipulé pelles et plaques de désensablage sous de fortes chaleurs. Enfin, une fois arrivés à bon port, ils ont dû effectuer le déchargement du matériel et l'installation des camps.

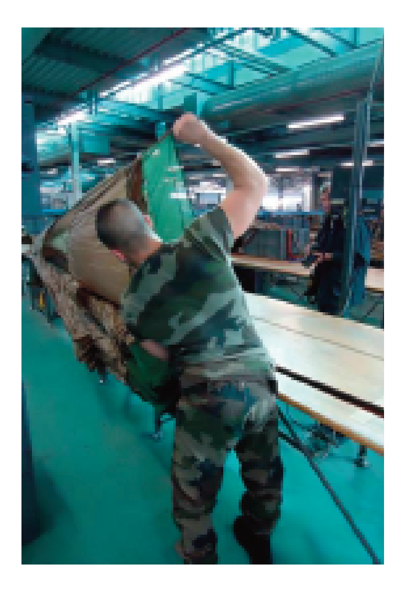


Figure 6.
Atelier de pliage des parachutes de l'armée de Terre.

4. Gestion de la pénibilité pour les personnels militaires

4.1. Des dispositifs compensatoires

Des bonifications sont prévues par le Code des pensions civiles et militaires de retraite. Pour les militaires, ce dispositif repose d'abord sur le régime des bonifications en annuités qui constitue un mode avancé de prise en compte des dangers physiques et de la pénibilité de certaines spécialités militaires. Ces bonifications viennent compenser non seulement des contraintes physiques et psychologiques mais aussi sociales. Les contraintes statutaires du militaire comme la mobilité ont pour conséquence de faire obstacle à la vie professionnelle du conjoint et de rendre plus difficile l'accès à la propriété ; quant à la disponibilité, elle peut du fait des absences répétées mettre en péril la vie de couple.

Au total trois types de bonifications vont avoir un impact sur le calcul de la pension de retraite du militaire :

- la bonification du cinquième qui permet une bonification d'un cinquième de la durée réelle des services dans la limite de 5 annuités à partir de 15 ans de service effectif ;

- la bonification pour campagne, chaque OPEX donnant lieu à la fixation d'un taux selon le niveau de risque estimé ;

- les bonifications pour services aériens, aquatiques ou subaquatiques commandés, pour lesquelles le total ne peut être supérieur à 2 ans sur une année civile.

Ainsi, un pilote de chasse ayant effectué 72 heures de vol de jour ou un marin

ayant effectué 360 heures de plongée à bord d'un sous-marin pourront acquérir une annuité de bonification.

Ce régime de retraite spécifique facilite le départ anticipé des militaires et répond aussi à la volonté de l'État de renouveler les troupes, l'impératif de jeunesse étant inhérent au métier des armes. Le retour à la vie civile est donc un élément indissociable du parcours professionnel des militaires et va s'accompagner de dispositifs d'aide à la reconversion. Ces aides comprennent en particulier des congés de reconversion ou pour création ou reprise d'entreprise et des dispositifs d'accès à la fonction publique (FP).

L'accès à la FP est possible :

- par voie de concours (art. L.4139-1 du Code de la défense) ;

- par voie de détachement-intégration (articles L.4139-2, D.4139-10 et suivants, R.4139-15 et suivants du Code de la défense) ;

- et par les emplois réservés (art. L.4139-3 du Code de la défense) dont les bénéficiaires prioritaires sont les pensionnés de guerre civils et militaires, les conjoints survivants et leurs enfants.

Face à l'ensemble des facteurs de pénibilité auxquels sont soumis les militaires, la reconnaissance de la Nation se matérialise aussi par des mesures financières qui sont un mode de reconnaissance habituel auquel les militaires ne dérogent pas. Cette compensation financière est attribuée sous forme de primes. Parmi celles-ci, les plus connues sont l'indemnité de sujétion pour service à l'étranger, attribuée aux militaires en OPEX, l'indemnité pour service aérien dont sont bénéficiaires les personnels navigants, l'indemnité spéciale pour sécurité aérienne équivalent, pour les contrôleurs aériens militaires, de la prime attribuée aux contrôleurs civils et les majorations pour service à la mer ou pour service en sous-marin.

4.2. Une prise en compte par le commandement

En qualité d'employeur, le chef d'organisme doit rechercher les mesures de prévention de la pénibilité les plus adaptées. La démarche initiale est celle de l'évaluation des risques. Elle se décline en une première phase d'identification des dangers. Dans le cadre de la pénibilité il s'agira par exemple d'identifier tous les agents chimiques dangereux. Puis il sera impératif d'étudier dans une deuxième phase les conditions d'exposition des militaires aux dangers identifiés, c'est l'étape d'analyse des risques. Comme pour les autres risques professionnels, un inventaire des facteurs de pénibilité est établi et des priorités sont débattues afin de définir un plan d'actions permettant d'éviter ou de réduire au plus bas niveau possible la pénibilité. La synthèse de cette évaluation est formalisée dans le document unique d'évaluation des risques. Au plan individuel, l'équivalent pour le personnel défense de la fiche de prévention des expositions, la FEN, sera établie pour chaque militaire exposé, et mise à jour annuellement.

Alors que l'engagement opérationnel demeure la finalité première des forces armées, ce cadre particulier n'exonèrera pas le commandement de ses obligations permanentes à assurer la sécurité et à protéger la santé physique et mentale du personnel placé sous son autorité. Ces obligations seront maintenues en OPEX et s'appuieront sur l'instruction provisoire n° D-13-000156 du 7 janvier 2013 relative à l'organisation de la prévention des risques professionnels au profit du personnel militaire au sein des forces servant en opération extérieure. Cette instruction est l'héritière de l'ambitieuse démarche « Hygiène sécurité en opération » (HSO) initiée après les expériences de la guerre du Golfe et des conflits dans les Balkans.

4.3. Une prise en compte par les Centres médicaux des armées(CMA)

Dans le cadre de la détermination de l'aptitude à servir, les médecins des forces vont réaliser les Visites médicales périodiques (VMP) des militaires. Si ces derniers sont soumis à une Surveillance Médicale Renforcée (SMR), en application des dispositions du troisième alinéa de l'article R.4624-18 du Code du travail, le médecin des forces exercera aussi la médecine de prévention du fait des expositions professionnelles du militaire. Dans ce cas précis, il prendra naturellement en compte certains facteurs de pénibilité comme l'activité en milieu hyperbare, l'exposition au bruit ou aux vibrations qui relèvent aussi d'une SMR. Pour les autres facteurs de risque de pénibilité, le médecin devra se montrer vigilant et les rechercher. Si le chef d'organisme a correctement réalisé leur évaluation et leur traçabilité, ceux-là devraient être listés sur la FEN dont une copie est adressée au médecin pour insertion dans le dossier médical. Mais en dehors de l'activité clinique, ce sont bien les actions en milieu de travail (AMT) qui vont permettre au médecin de renforcer la prévention primaire au travers des conseils qu'il va formuler au chef d'organisme. À ce sujet, les expositions passées à l'amiante illustrent le fait que le suivi médical régulier avec prescription de radiographie thoracique n'a pas protégé les travailleurs au contraire des actions menées par les médecins pour faire adopter des mesures de prévention technique collectives ou individuelles plus efficaces. Au sein de la fonction publique, le Ministère de la défense a toujours été en pointe dans la retranscription des règles techniques du Code du travail ; l'exercice de la médecine de prévention s'est aussi rapidement adapté aux différentes réformes de la médecine du travail, en particulier celle résultant de la loi 2011-867 du 20 juillet 2011 et de ses décrets d'application. Ainsi, l'espacement de la périodicité des visites pour les salariés a été mis en place pour les agents civils du ministère, le principe de l'espacement a aussi été transposé au personnel militaire afin de redéployer du temps médical vers l'activité essentielle qu'est l'AMT et d'intégrer dans la prévention des risques professionnels, l'axe de la prévention des facteurs de pénibilité. Cette réforme a aussi renforcé les attributions du médecin en tant que conseiller du commandement, puisque selon l'article L. 4624-3

du Code du travail, lorsque le médecin du travail constate la présence d'un risque pour la santé des travailleurs, il doit proposer par un écrit motivé et circonstancié des mesures visant à la préserver. Quant à l'employeur, il doit prendre en considération ces propositions et, en cas de refus, fait connaître par écrit les motifs qui s'opposent à ce qu'il y soit donné suite.

Dans cet exercice de la médecine de prévention au profit des personnels militaires, les médecins des forces bénéficient au niveau de chaque Direction régionale du service de santé des armées (DRSSA), du soutien technique du conseiller expert régional en médecine de prévention (CERMP) qui est un praticien des armées qualifié en médecine du travail. À ce titre, il effectue des visites dans les CMA afin d'évaluer les pratiques professionnelles et organise sous la tutelle de l'École du Val-de-Grâce, des sessions d'enseignement de la médecine de prévention qui s'intègrent dans le développement professionnel continu des professionnels de santé du SSA.

4.4. Principale limite

Pour les militaires, l'intérêt premier de la prise en compte de la pénibilité, est de cibler des facteurs de risque d'altération de la santé et de développer contre eux des plans de prévention. La publicité autour de la notion de pénibilité favorise la mobilisation des moyens matériels et de tous les acteurs de la prévention. Mais au sein du ministère de la Défense comme dans le reste de la FP, les dispositions administratives relatives à la pénibilité n'ont pas pour l'heure d'impact statutaire, donc la prise en compte de la pénibilité n'interviendra pas dans le calcul de l'âge de départ à la retraite via un « compte personnel de prévention de la pénibilité » bâti à partir des points dont se voit gratifié un salarié exposé à un facteur de pénibilité. Cependant cette limite peut se révéler être un avantage car le compte pénibilité pourrait être contre-productif en incitant un travailleur à rester dans un poste pénible pour accumuler un maximum de points et partir plus tôt à la retraite, au lieu de changer de poste.

4.5. Perspectives

4.5.1. Évolution de l'application du Code des pensions militaires d'invalidité

Les crises sanitaires auxquelles les armées françaises ont été confrontées, ont la plupart du temps mis en cause plusieurs expositions. En plus des contraintes thermiques et physiques déjà évoquées pendant la guerre du Golfe, les études sur le syndrome de la guerre du Golfe ont confirmé *a posteriori* l'exposition aux retombées des incendies des puits de pétrole, à des solvants et peintures aux isocyanates utilisés par nos personnels pour l'entretien des véhicules. Dans le domaine du possible mais sans certitude il y a aussi pu avoir exposition à l'uranium appauvri dont 300 tonnes ont été utilisées par les britanniques et les américains pour bombarder des cibles irakiennes

ainsi qu'à des agents chimiques de guerre s'échappant de dépôts de munitions suite à leur destruction. Lors des activités habituelles, ces co-expositions existent aussi, c'est le cas par exemple du milieu confiné des sous-marins et plus particulièrement des Sous-marins nucléaires lanceurs d'engins (SNLE) pour lesquels les plongées durent plusieurs semaines. Une des évolutions à accompagner est donc de tenir à disposition de la sous-direction des pensions les documents, médicaux et/ou administratifs, de la traçabilité de ces expositions, et d'inciter les experts de cette sous-direction à tenir compte des multiples expositions lorsqu'ils doivent se prononcer sur les liens entre maladie et exposition.

Toujours dans le cadre de la recherche du lien tout en s'inspirant des tableaux des maladies professionnelles du régime général, les médecins chargés de l'expertise doivent s'appuyer sur les critères de la médecine basée sur les preuves et prendre aussi en compte des éléments comme la classification du Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) ou les recommandations publiées sous le label de la Haute autorité de santé (HAS).

4.5.2. Création d'un comité de pilotage pour le maintien dans l'emploi

En s'appuyant sur les recommandations du rapport de décembre 2011 de l'Inspection générale des affaires sociales (IGAS) relatif à l'évaluation du dispositif de reclassement des fonctionnaires déclarés inaptes à l'exercice de leurs fonctions pour des raisons de santé, il faut, pour les militaires, développer au niveau local, la création d'un comité de pilotage pour le maintien dans l'emploi. Ce type de comité a déjà été expérimenté dans plusieurs organismes du ministère. Le comité est une cellule multidisciplinaire où siègent le chef d'organisme, des représentants des ressources humaines, l'encadrement de proximité, l'assistant de service social et le médecin. Il doit permettre une gestion personnalisée des agents civils et militaires dont la santé est altérée par la pénibilité des tâches. Il s'agit de mobiliser les énergies afin de faire aboutir les adaptations de poste de travail, de piloter les parcours professionnels, en développant les compétences qui permettront des évolutions de carrière ou des reclassements et en particulier un aménagement des fins de carrière pour les postes les plus pénibles.

4.5.3. Prise en compte du handicap

Dans le cadre du Plan handicap, l'engagement du ministère de la Défense afin d'améliorer l'insertion professionnelle des personnels souffrant d'un handicap doit être poursuivi ; dans cette optique, le ministère s'appuie en particulier sur une convention signée avec le Fonds pour l'insertion des personnes handicapées dans la fonction publique (FIPHFP). Des initiatives locales doivent aussi être encouragées,

d'autant plus lorsqu'elles s'adressent aux militaires blessés en mission. Il existe au sein de l'HIA Percy une Cellule de réadaptation et de réinsertion du blessé en opération (C2RBO) qui s'appuie sur les compétences du service de médecine physique et réadaptation qui travaille en concertation avec l'état-major des armées et tout particulièrement la Cellule d'aide aux blessés de l'armée de Terre (CABAT). En plus des moyens mis en œuvre afin que les blessés retrouvent leur autonomie, ils anticipent leur retour au travail sous l'uniforme dans leur unité d'origine si possible. Car ce que ces blessés redoutent le plus, c'est de ne pas retrouver leurs camarades en perdant leur statut militaire.

4.5.4. Prise en compte des risques émergents

Il y a dans ce domaine des risques qui pourraient rentrer dans le cadre de la pénibilité comme les fumées de tir où sont retrouvés des ACD mais pour lesquelles tous les éléments de composition ne sont pas connus. Cette préoccupation récente résulte d'un accroissement de la consommation de munitions du fait de l'usage des mortiers et des pièces d'artillerie lourde à l'entraînement et sur le terrain. Ce travail est réalisé en coopération entre la Délégation générale à l'armement (DGA) et l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA).

Avec le développement des nanotechnologies, une préoccupation à venir est celle liée à la toxicité des nanomatériaux pour lesquels la surface de contact avec les tissus est démultipliée par rapport aux toxiques habituels.

Enfin, il existe les facteurs de risques psycho-sociaux. Certains syndicats demandent encore leur inclusion dans le dispositif pénibilité en dépit de la difficulté à les quantifier. Mais même s'ils restent hors dispositif, ils ne peuvent être ignorés du fait, d'une part, de leur prévalence dans un contexte soutenu de restructurations au sein du ministère de la Défense et d'autre part, de leur capacité reconnue à altérer la santé. En leur sein, le cas particulier des syndromes de stress post-traumatique, est une problématique depuis quelques années, en rapport direct avec le durcissement des interventions hors de nos frontières ; à ce titre le conflit en Afghanistan aura marqué une rupture dans les conditions d'engagement des soldats.

5. Conclusion

Cet état des lieux nous ayant permis de dégager des pistes d'évolution pour les années à venir, je souhaite revenir à celui qui a été l'initiateur de la médecine du travail, le professeur Desoille qui déjà dans sa leçon inaugurale évoquait le rôle des médecins du travail dans la prévention de la pénibilité « Ainsi, le but que nous poursuivons est de rendre le travail moins pénible ». Finalement, le rôle des médecins s'intègre à cette réforme qui est la mise en pratique des idées qui préfiguraient la loi de 1946.

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de la leçon de 24 heures (par ordre alphabétique) : Guillaume Abou-Anoma, Bertrand Bouard, Laurent Géraut, Erwan Guevel, Capucine Le Marquand, Florence Merat, Fabrice Michiels, Philippe Moulin, Frank Rivière, Julie Trichereau, Catherine Verret.

Références bibliographiques

[1] Fuentes, Sabrina. Les troubles musculo-squelettiques chez le combattant. Thèse d'exercice : Médecine. Médecine générale:2011:131.

[2] Kuorinka I, Jonsson B. Standardised Nordic Questionnaire for the analysis of musculoskeletal symptom. Applied Ergonomics 1987;18:233-7.

[3] Van den Oord MH, De Loose V, Meeuwsen T, Sluiter JK, Frings-Dresen MH. Neck pain in military helicopter pilots: prevalence and associated factors. Mil med. 2010;175:55-60.

[4] Ang B, Harms-Ringdahl K. Neck pain and related disability in helicopter pilots: A survey of prevalence and risk factors. Aviat Space Environ Med. 2006;77: 713-9.

[5] Petruccelli BP, Goldenbaum M, Scott B, Lachiver R, Kanjarpane D, Elliott E, et al. Health effects of the 1991 Kuwait oil fires: a survey of US army troops. J Occup Environ Med. 1999;41: 433-9.

[6] Young RC, Jr., Rachal RE, Huguley JW, 3rd. Environmental health concerns of the Persian Gulf War. J Natl Med Assoc. 1992;84:417-24.

[7] Bismuth C et Gueye PN. Syndrome de la guerre du golfe. Encyclopédie méd chir (Elsevier, Paris) Toxicologie-pathologie professionnelle, 16-650-A-20, 1998.

[8] Salamon R, Verret C, Jutand MA, Bégassat M, Laoudj F, Conso F, et al. Health consequences of the First Persian Gulf War on French troops. International Journal of Epidemiology 2006;35:479-87.

[9] Cuney T, Boulais C, Olichon D, Ledrans M, Rudelle D, Brunot J, et al. Évaluation et surveillance de l'exposition au plomb des militaires français à Mitrovica, Kosovo. BEH 2002;34:165-7.

[10] Helfer TM, Jordan NN, Lee RB, Pietrusiak P, Cave K, Schairer K. Noise-induced hearing injury and comorbidities among postdeployment U.S Army soldiers: April 2003-June 2009. Am J Audiol.2011;20:33-41.

[11] Knutsson A, Hallquist J, Reuterwall C, et al. Shiftwork and myocardial infarction: a case-control study. Occup Environ Med, 1999;56: 46-50.

[12] Menegaux F, Guénel P. Travail de nuit et cancer du sein : étude CECILE. Archives des maladies professionnelles et de l'environnement 2012;73:547-8.

Chaire de sciences pharmaceutiques appliquées aux armées et risque chimique

Les nouvelles technologies de l'information et de la communication au service de la sécurité de l'utilisation des produits de santé

Claude Dussart

1. Introduction

Les produits de santé à usage humain comprennent les médicaments, les matières premières à usage pharmaceutique, les dispositifs médicaux et dispositifs de diagnostic *in vitro*, les produits biologiques et issus des biotechnologies (produits sanguins labiles, organes, tissus, cellules et produits d'origine humaine ou animale, produits de thérapie génique et cellulaire, produits thérapeutiques annexes) et les produits cosmétiques (selon l'article L.5311-1 du Code de la santé publique). Ces produits ont des statuts réglementés et sont placés en France sous le contrôle de l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM).

Force est de constater que l'usage de tels produits n'est pas sans risque. L'actualité nous rappelle régulièrement la nécessité de mener une politique de gestion des risques liés à l'utilisation des produits de santé.

L'objet de ce travail consiste à expliquer de quelle manière les nouvelles technologies de l'information et de la communication contribuent à la sécurité de l'utilisation des produits de santé.

L'expression « nouvelles technologies de l'information et de la communication » renvoie à un ensemble de technologies qui ont le pouvoir de mémoriser, de traiter, de rendre accessible et de transmettre une quantité quasi illimitée et très diversifiée de données. Par l'acronyme NTIC, nous désignons donc l'ensemble des technologies de la communication et des technologies faisant appel à un support numérique. Nous parlons aussi bien du réseau Internet que des logiciels d'utilité courante, des cédéroms, et même de technologies qui n'existent pas encore, mais qui sont appelées à apparaître prochainement. Puisqu'un grand nombre de ces technologies sont par définition nouvelles, on utilise de plus en plus l'acronyme TIC pour y faire référence. Puisqu'il y a convergence vers des supports numériques, certains utilisent simplement l'acronyme TI (technologies de l'information) ou IT (en anglais). Tous ces acronymes peuvent être considérés comme synonymes.

À l'issue d'une présentation du concept de « risques liés à l'utilisation des produits de santé », nous aborderons les principales technologies de l'information et de la communication contribuant à la sécurité d'utilisation de ces produits et en dégagerons les principaux enjeux et perspectives.

2. Les risques liés à l'utilisation des produits de santé

2.1. Contexte

L'objectif de la mise en place d'un traitement médicamenteux est d'améliorer, restaurer ou préserver l'état de santé du patient, tout en garantissant une prise en charge de qualité pour minimiser les risques auxquels il peut être exposé [1]. Ces risques, à la fois connus et inconnus, peuvent être regroupés sous le terme de risque iatrogène médicamenteux. Le phénomène est d'importance, et depuis 1996 la réduction du risque iatrogène, médicamenteux et non médicamenteux, en ambulatoire et en milieu hospitalier, est un objectif de santé publique.

La définition de l'iatrogénie varie selon les auteurs, mais englobe les effets indésirables sans et avec mauvais usage des thérapeutiques. Sans mauvais usage, ce sont des aléas non fautifs. Avec mauvais usage, elle est du fait du médecin, d'autres professionnels de santé ou du malade lui-même (par automédication inappropriée ou mauvaise observance du traitement).

Il existe alors des dispositions législatives pour encadrer la lutte contre la iatrogénie médicamenteuse. La loi de Santé Publique du 9 août 2004 relative à la politique de santé publique érige les événements indésirables graves, et notamment ceux liés aux produits de santé, comme un problème de santé publique. La loi n°2009-879 du 21 juillet 2009 portant réforme de l'hôpital et relative aux patients, à la santé et aux territoires dite loi HPST est chargée d'organiser la politique d'amélioration continue de la qualité et de la sécurité des soins et la gestion des risques. Cette loi met la qualité et la sécurité des soins au cœur des missions des établissements de santé. Le décret n°2010-1029 du 30 août 2010 relatif à la politique du médicament et des dispositifs médicaux stériles dans les établissements de santé traite plus particulièrement du médicament et des dispositifs médicaux stériles dans les établissements de santé. La qualité de la prise en charge médicamenteuse s'intègre dans la gestion globale des risques comme le rappelle le décret du 12 novembre 2010 relatif à la lutte contre les évènements indésirables associés aux soins. Enfin, la loi n°2011-2012 du 29 décembre 2011 relative au renforcement de la sécurité sanitaire du médicament et des produits de santé montre que la sécurité du patient doit être compatible avec l'accès au progrès thérapeutique. Elle correspond à une refonte du système de sécurité sanitaire des produits de santé.

Le management de la qualité de la prise en charge médicamenteuse (tel qu'inscrit dans l'arrêté du 6 avril 2011 relatif au management de la qualité de la prise en charge médicamenteuse et aux médicaments dans les établissements de santé) complète le système. La prise en charge médicamenteuse constitue un processus sur lequel doit être opéré un management de la qualité comme élaboré dans les démarches de l'aéronautique ou dans le domaine de la radiothérapie. Les risques liés aux produits

de santé doivent être gérés. L'arrêté introduit la notion de priorisation sur des situations spécifiques : patients à risque (sujet âgé par exemple), identitovigilance, médicaments à haut risque (anticoagulants par exemple).

La sécurisation de la prise en charge médicamenteuse et autres produits de santé est également inscrite dans l'ensemble des démarches nationales (tarification à l'activité, certification, contrat de bon usage, contrats pluriannuels d'objectifs et de moyens). Le contrat de bon usage du médicament et des dispositifs médicaux [2] vise à engager les établissements de santé dans une dynamique de sécurisation du circuit du médicament. Il incite les hôpitaux à développer l'informatisation du circuit du médicament, la prescription et la dispensation à délivrance nominative, la traçabilité de la prescription à l'administration, le développement d'un système d'assurance qualité. Par ailleurs, la Haute autorité de santé (HAS) impose aux établissements de santé la nécessité de conduire une politique de gestion des risques sanitaires.

2.2. Catégorisation des risques

Les risques sanitaires liés à l'utilisation des produits de santé peuvent être subdivisés en deux grands types de risques. D'un côté les risques collectifs qui engagent la sécurité pour les populations, de l'autre, les risques individuels qui jouent sur la santé d'un patient.

Par risque collectif, nous entendons par exemple les risques liés à la mauvaise prescription ou à la mauvaise utilisation des antibiotiques. Pour répondre à cette menace pour la collectivité, la France a mis en place des plans antibiotiques afin de mieux maîtriser la prescription et l'usage de ces médicaments. Un deuxième volet des risques collectifs liés à la sécurité des produits de santé est l'existence de filières de contrefaçons des produits de santé. Cette contrefaçon existe essentiellement dans les pays émergents où les produits de santé contrefaits représentent une part importante dans la consommation en médicaments. C'est pourquoi nous les classons comme produits à risque pour la collectivité.

Abordons à présent les risques individuels liés à l'utilisation des produits de santé (figure 1). Ces risques concernent uniquement le patient. Théoriquement, lorsqu'un patient utilise un produit de santé, c'est pour apporter un bénéfice sur sa santé. Mais il arrive que le bénéfice ne soit pas celui attendu, soit que le produit n'ait aucun effet bénéfique, soit que cet effet soit réduit. Enfin, en plus du bénéfice plus ou moins important sur la santé, il se peut que surviennent des événements indésirables.

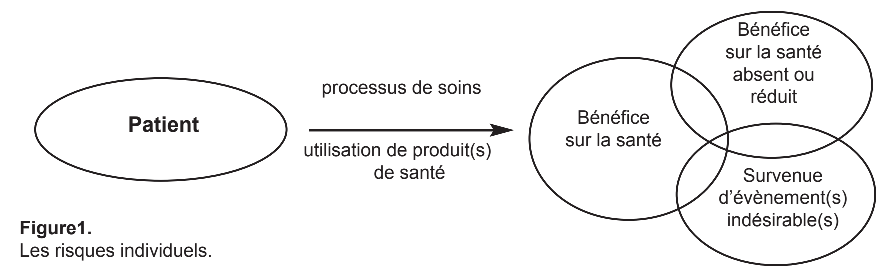


Figure1.
Les risques individuels.

Ces événements indésirables regroupent les erreurs médicamenteuses et les effets indésirables. Un effet indésirable est : « une réaction nocive et non voulue, se produisant aux posologies normalement utilisées chez l'homme pour la prophylaxie, le diagnostic ou le traitement d'une maladie ou pour la restauration, la correction ou la modification d'une fonction physiologique, ou résultant d'un mésusage du médicament ou produit ».

Tandis qu'une erreur médicamenteuse est : « l'omission ou la réalisation non intentionnelle d'un acte survenu au cours du processus de soins impliquant un médicament, qui peut être à l'origine d'un risque ou d'un événement indésirable pour le patient ».

Il reste à se demander si l'on peut éviter la survenue d'événements indésirables. En fait, il existe des événements évitables et d'autres non. L'erreur médicamenteuse est par définition évitable tandis que l'effet indésirable est non évitable.

Les erreurs médicamenteuses sont avérées lorsqu'elles sont le résultat d'une administration au patient : d'un médicament erroné, d'une dose incorrecte, par une mauvaise voie ou selon un mauvais schéma thérapeutique, etc. L'erreur est dite potentielle si elle est interceptée avant l'administration du produit au patient. Enfin, elle est dite latente, s'il s'agit d'une observation témoignant d'un danger potentiel pour le patient.

2.3. Principaux risques liés au circuit des produits de santé à l'hôpital

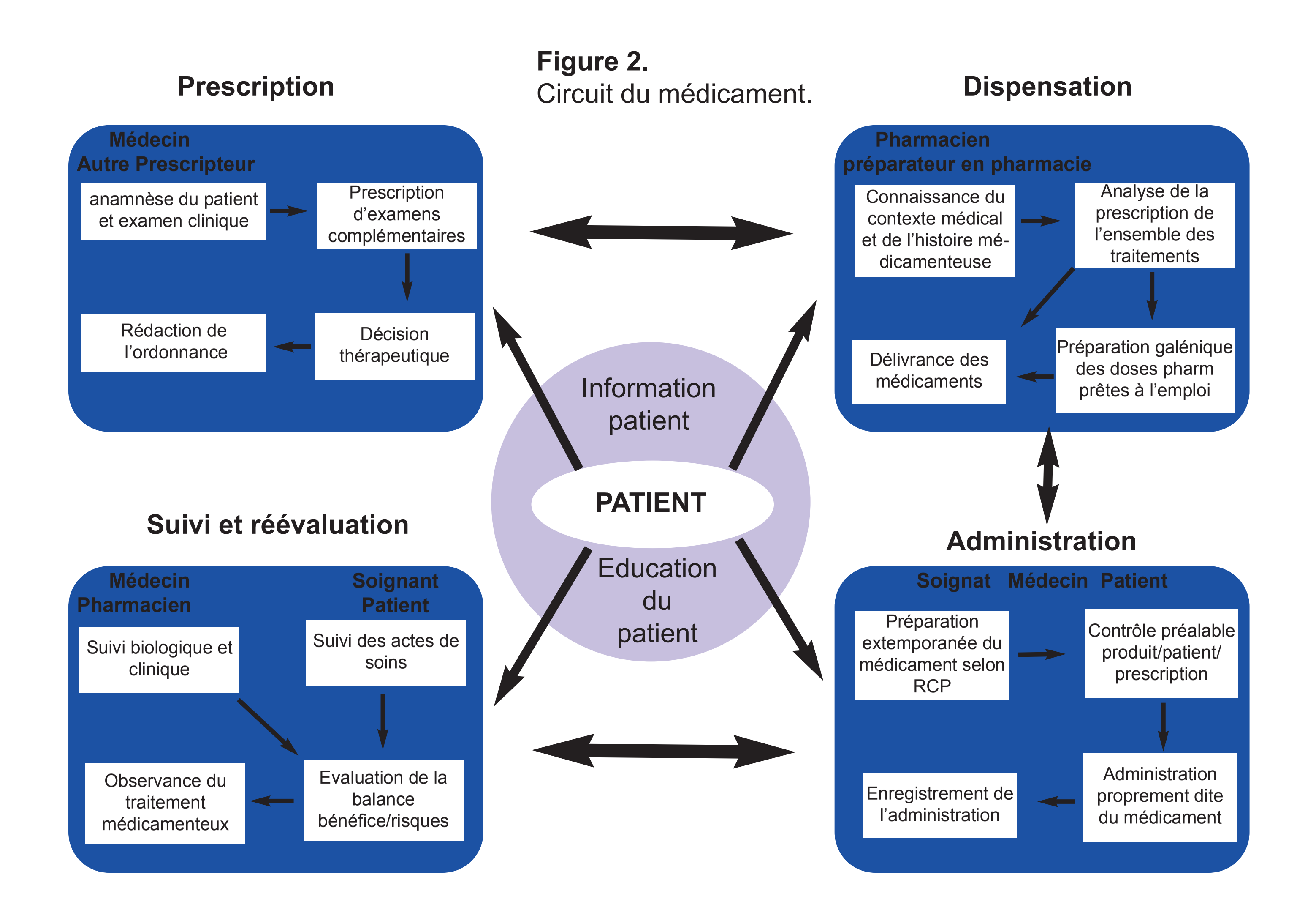
Il existe une iatrogénie inévitable due à la capacité intrinsèque du médicament de provoquer des dommages. Elle est dépendante de la variabilité interindividuelle de réponse au traitement. Mais une part de l'iatrogénie médicamenteuse est évitable. Des défaillances techniques, humaines et managériales favorisent la survenue d'erreurs médicamenteuses potentiellement graves pour le patient.

L'Enquête nationale sur les évènements indésirables liés aux soins (ENEIS), réalisée pour la deuxième fois en 2009 [3] a confirmé l'enjeu que constituait le médicament dans le domaine de la sécurité des soins. Après les actes invasifs et les infections liées aux soins, les médicaments sont la troisième cause d'événements indésirables graves (EIG) : 60 000 à 130 000 EIG par an en lien avec le médicament, dont 15 à 60 000 sont évitables. Parmi ces EIG, certains sont liés au produit (problèmes d'étiquetage ou de conditionnement notamment) et d'autres aux pratiques (erreurs de prescription ou d'administration par exemple). Le plus souvent, différents facteurs s'intriquent pour conduire à l'accident final.

En résumant, retenons comme points forts caractérisant l'erreur médicamenteuse :

- le caractère évitable : « évènement qui ne serait pas survenu si les soins avaient été conformes à la prise en charge considérée comme satisfaisante au moment de la survenue de cet évènement » ;
- le lien à des défaillances dans la prise en charge (soit dans le processus décisionnel, soit dans l'organisation de cette prise en charge) ;

Figure 2. Circuit du médicament.



- la réalisation ou l'omission d'actes non intentionnels, par les acteurs intervenant dans le circuit ;
- l'apparition d'un risque non désiré par le patient pouvant lui nuire s'il se concrétise ;
- la possibilité d'être avérée, potentielle ou latente.

Toutes les étapes du circuit du médicament (telles que présentées dans la figure 2), et plus largement toutes les étapes du circuit des produits de santé, sont concernées [4, 5]. La prescription est l'étape où l'on note le plus de dysfonctionnements (35 %) suivie de l'administration (29 %), de la transcription (12 %), de la distribution (12 %), et pour finir de l'étape de préparation (8 %).

Les travaux de la NCC MERP [6] ont abouti à une classification composée de treize types d'erreurs médicamenteuses de natures différentes et qui peuvent être entendus pour l'ensemble des produits de santé :

1. erreur d'omission ;
2. erreur de dose : dose supplémentaire non requise, surdosage ;
3. erreur de posologie ou de concentration ;
4. erreur de médicament ;
5. erreur de forme galénique ;
6. erreur de technique d'administration ;
7. erreur de voie d'administration : IM au lieu de IV, et inversement ;
8. erreur de débit d'administration ;
9. erreur de durée d'administration ;
10. erreur de moment d'administration ;
11. erreur de patient ;
12. erreur dans le suivi thérapeutique et clinique : allergie documentée, état clinique ;
13. erreur par médicaments détériorés ou périmés.

L'analyse de l'interface ville-hôpital permet également d'identifier des erreurs possibles qui surviennent aux points de transition c'est-à-dire lors de l'admission, du transfert entre services ou de la sortie. Citons les erreurs d'anamnèse médicamenteuse lors de l'admission des patients à l'hôpital qui sont fréquentes (53 % de divergence non intentionnelle entre les traitements habituels et les traitements prescrits à l'hôpital).

Face à tous ces risques, divers outils existent et ont montré leur efficacité dans la gestion des risques et la sécurité d'utilisation des produits de santé…. Nous évoquerons tout particulièrement les outils développés dans le cadre des nouvelles technologies de l'information et de la communication.

3. Les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC)

Dans le domaine de la santé, l'essor des NTIC concerne trois niveaux principaux :

1. La télémédecine et la télécommunication qui vont modifier les conditions

d'exercice des professionnels de santé et transformer la relation patient-soignant ;

2. L'information et la formation : le développement du réseau internet avec notamment les sites d'e-santé ainsi que les nouvelles pédagogies;

3. L'informatisation du circuit des produits de santé représenté par les logiciels d'aide à la prescription, d'aide à la prise de décision clinique.

3.1. La télé-médecine et la télé-communication

La loi Hôpital Patients Santé et Territoire (article 78) suivi du décret 2010-1229 du 19 octobre 2010 relatif à la télé-médecine indique que « les actes médicaux, réalisés à distance, au moyen d'un dispositif utilisant les technologies de l'information et de la communication constituent des actes de télé-médecine ». Plusieurs outils sont disponibles : la télé-consultation, la télé-expertise (télé-conférence, visioconférence) ; la télé-surveillance médicale (enregistrement et transmission des données automatisées ou par le patient) ou bien la télé-assistance médicale. La télé-médecine vise donc à optimiser l'utilisation des ressources médicales, faciliter l'accès aux soins et étendre leurs délivrances. Elle permet de dispenser au plus grand nombre les meilleurs soins médicaux, expertises, consultations et surveillances à distance. Elle est aussi utilisée comme outil de veille sanitaire. La télé-médecine est dorénavant considérée comme une valeur ajoutée en matière de qualité et de sécurité dans l'organisation des soins, notamment lorsqu'elle favorise les soins au domicile des patients [7].

Par ailleurs, le développement des réseaux entre professionnels de santé s'appuie sur des réseaux hôpital-hôpital, ville-ville ou bien ville-hôpital. Le dossier médical personnel et le dossier pharmaceutique sont des leviers favorisant la coordination, la qualité et la continuité des soins, gages d'un bon niveau de santé.

Le dossier médical personnel (DMP) est un dossier médical informatisé et sécurisé, accessible sur internet. Il s'agit d'un service public proposé gratuitement à tous les bénéficiaires de l'Assurance maladie. Lancé par la loi du 13 août 2004 relative à l'assurance maladie, le DMP est mis en place par l'Agence des systèmes d'information partagés de santé (ASIP Santé), placée sous l'égide du ministère en charge de la Santé. Il est utilisé par les professionnels de santé avec le consentement du patient. Il contient les informations personnelles de santé utiles à une prise en charge coordonnée du patient : traitements, analyses de laboratoires, antécédents médicaux et chirurgicaux, allergies, comptes rendus hospitaliers et de radiologie… Le DMP permet ainsi de disposer de la bonne information au bon moment. Il présente de nombreux avantages : rapidité dans le traitement des données (commande et résultats d'examens, mise en place du protocole de traitements…), absence de répétition d'examens et partage d'informations entre les différents professionnels de santé de l'hôpital, mais aussi avec des professionnels de santé suivant les patients à l'extérieur de l'hôpital, traçabilité des données, gain de temps pour le personnel administratif… Le DMP est aussi accessible par le patient : depuis 2011, tout patient qui le souhaite peut accéder à son

DMP via Internet, sans passer par un professionnel de santé grâce à un identifiant unique et un code personnel.

Le dossier pharmaceutique (DP) est né d'une évidence : dans l'intérêt des patients, mettre les technologies à leur service en donnant au pharmacien une vue globale des traitements pour améliorer les performances de son exercice. Il découle de l'inscription du Dossier médical personnel (DMP). Il vise à répondre aux grands enjeux sanitaires actuels : le bon usage du médicament, la coordination entre professionnels de santé, le décloisonnement ville-hôpital, les gestions de crises sanitaires, les ruptures d'approvisionnement. Pour décloisonner la ville et l'hôpital, le DP a effectué ses premiers pas dans les pharmacies à usage intérieur des établissements de santé et s'ouvre à quelques médecins : urgentistes, anesthésistes-réanimateurs, médecins spécialisés en gériatrie. Le dispositif sert maintenant de relais aux alertes de la Direction générale de la santé (DGS) et à l'information rapide sur les retraits de lots. À terme, l'objectif est non seulement de retirer rapidement du marché les médicaments qui doivent l'être, mais également de les retirer chez les patients à qui ils ont été délivrés.

3.2. L'information et la formation

3.2.1. Information

L'Internet, les intranets et les outils liés à ce type de réseaux (navigateurs, messagerie, messagerie temps réel, forum, techniques d'échange de fichiers etc…) donnent accès à une masse de documents considérable et toujours plus structurée : contenus généralistes et pédagogiques, banques de connaissances, bases de données, etc. De nouveaux opérateurs de contenu apparaissent : éditeurs en ligne, centres de documentation, universités, laboratoires pharmaceutiques, associations professionnelles, sociétés savantes…

Sous l'effet des NTIC, deux types distincts d'informations à propos des thématiques de santé émergent : information de santé (grand public, non spécialisée) et information médicale (professionnelle). Gagnant peu à peu les supports de presse, cette distinction est extrêmement prégnante sur l'Internet. Ces deux informations renvoient par ailleurs à de nouveaux usages en matière d'informations sur la santé et à une certaine forme d'industrialisation d'une information jusque-là publique et scientifique, tout du moins en France.

L'information médicale à orientation « grand public » est souvent fort utile mais présente des dangers dans la mesure où ceux qui la consultent n'ont pas obligatoirement la compétence pour apprécier la qualité des informations qui leur sont communiquées. Mieux informé, «propriétaire» de son dossier médical, associé à la définition du projet thérapeutique qui va lui être administré, le patient devient acteur de sa prise en charge. L'échange devient à la fois plus exigeant et mieux documenté avec toutefois un risque réel de dérapage vers un comportement « consumériste ».

3.2.2. Formation : le *e-learning*

Bien que l'intérêt pour l'utilisation de l'ordinateur en éducation médicale ne soit pas nouveau, les développements technologiques récents, la convergence de l'ensemble des médias vers des supports numériques et le développement rapide du réseau Internet soulèvent des enjeux importants sur le plan pédagogique. Certains y voient une mode passagère qui risque de rappeler les désillusions liées à l'introduction de l'audiovisuel dans l'enseignement, mais nous croyons à présent que les pratiques éducatives sont appelées à se modifier considérablement. En effet, les NTIC, lorsqu'elles sont utilisées comme des environnements d'apprentissage, permettent généralement aux apprenants d'exercer un « degré de contrôle » (*learner control*) beaucoup plus prononcé sur leurs apprentissages.

In fine, le *e-learning* consiste à utiliser les ressources de l'informatique et de l'Internet pour apprendre, à distance, des savoirs. Les applications et les contenus sont dispensés via un ordinateur relié à un intranet, à un extranet ou encore à Internet. Les contenus constituent une étape plus avancée que l'utilisation du CD-Rom ou les cours dispensés en salle. D'une façon générale, le *e-learning* apporte l'interactivité n'importe quand et n'importe où, avec l'environnement visuel et interactif spécifique à Internet : groupes de discussions, cours virtuels « en live », vidéo et audio, *Web chat*, simulation interactive, etc. Ce terme *e-learning* met l'apprentissage au cœur du problème. Les formations hors établissement (ou dans des établissements virtuels), modulaires et « à la carte » se développent ; on se forme chez soi, sur son lieu de travail et au moment de son choix. L'étude et le travail en groupe ou en réseau donnent naissance à des écoles virtuelles d'un autre type avec des communautés propres d'apprenants. Nouvelle pédagogie avec les approches par scénario qui placent l'apprenant en tant qu'individu avec son histoire, ses capacités, et ses compétences acquises au centre de la démarche pédagogique. Nouvelle technique de conception de cours avec les objets pédagogiques : la ressource numérique peut être utilisée, réutilisée et redéfinie dans des contextes différents. Plateforme pédagogique qui met en ligne les cours proposés aux apprenants, suivis le cas échéant à la trace dans leurs activités d'apprentissage [8].

3.3. L'informatisation du circuit des produits de santé

Chaque étape du circuit est source d'erreurs potentielles qui peuvent engendrer des risques pour la santé du patient. L'informatisation du circuit, de la prescription à l'administration, assure sa traçabilité et limite considérablement les risques d'erreur. Ce circuit est interfacé avec le système d'information hospitalier et la logistique. L'informatisation du circuit des produits de santé peut s'appuyer sur des progiciels intégrés. Leur développement et leur implantation est en plein essor dans les hôpitaux français. Rappelons cependant qu'une démarche de certification des logiciels est nécessaire : le rôle de la Haute Autorité de Santé est majeur dans ce sens, de même

que celui de l'Agence Nationale d'Appui à la Performance des établissements de santé et médico-sociaux (ANAP).

Les outils de prescription-dispensation-administration informatisés présentent une réelle plus-value. En effet, les logiciels de prescription permettent un certain nombre de contrôles et d'alertes (interactions médicamenteuses, surdosages…), et ainsi de sécuriser :

1. l'étape de prescription qui devient unique (conciliation du traitement à l'entrée, prescription de consultants externes), complète (nom du médicament, DCI, dosage, dose calculée, voie, rythme, durée et surveillance associée) et informative (informations sur le patient : âge, poids, allergies, pathologie chronique, données biologiques …) ;
2. l'étape de dispensation par le biais de la délivrance nominative de doses en conditionnement unitaire et la validation pharmaceutique par une analyse de l'ensemble des prescriptions : interactions, posologies, durée de traitement ;
3. l'étape d'administration grâce à la traçabilité au lit du patient avec l'ensemble des prescriptions et la surveillance associée.

Une sécurisation complète des étapes de préparation des doses et de l'administration peut être envisagée par le biais d'une informatisation du circuit du médicament couplée à l'automatisation de la préparation des doses individuelles à administrer. Les industriels proposent essentiellement trois types d'automates : les automates de dispensation des formes orales sèches, les automates dispensant plusieurs formes médicamenteuses et les armoires automatisées sécurisées. Le gain de temps pharmaceutique est évalué par plusieurs auteurs à deux heures par jour et par unité de 30 lits.

Au travers de plusieurs retours d'expérience, nous constatons par ailleurs que la traçabilité est au cœur des préoccupations. Cette traçabilité permet d'optimiser les flux et les coûts liés au stockage et au transfert des produits. Plus important, elle garantit la sécurité des patients en établissant le suivi des produits qui leur sont administrés. Le 1er janvier 2011 a marqué le début d'une nouvelle ère pour la traçabilité des médicaments. En effet, pour les médicaments humains, l'obligation de traçabilité et les conditions de mise en œuvre – archivage des données concernant chaque transaction d'entrée et de sortie dans un système d'informations – sont décrites dans un avis aux fabricants et aux distributeurs paru au Journal officiel [9], avec date d'effet au 1er janvier 2011. Environ 11 600 références sont concernées par le Datamatrix, norme de marquage sous forme de code barre matriciel à deux dimensions sur lequel au moins trois éléments doivent figurer : le code CIP 13 du médicament, le numéro de lot, la date de péremption. Le marquage Datamatrix a été retenu car il permettra à terme d'intégrer sur une petite surface l'ensemble des renseignements nécessaires à une dispensation d'avenir des médicaments : identification des produits, numéro de lot de fabrication, date de péremption, numéro de série, prix ou tarif forfaitaire de responsabilité (TFR), taux de remboursement, indication de TFR… Au-delà de permettre une meilleure traçabilité des lots de médicaments, un autre des intérêts du

Datamatrix est qu'il permet d'appréhender l'étape suivante, celle de la sérialisation (numéro unique par boîte), qui permettra d'envisager une traçabilité à la boîte.

La technologie RFID (*Radio Frequency Identification*) permet d'identifier un objet ou une personne, d'en assurer la traçabilité et d'en connaître les caractéristiques. Qualifiée de code-barre intelligent, cette technologie repose sur l'utilisation d'étiquettes électroniques à émission radio. À la différence des codes-barres, la RFID ne nécessite pas de lecteur optique. L'étiquette à radiofréquence est composée d'une puce reliée à une antenne. Un lecteur distant envoie un signal radio, à une fréquence donnée, qui sera capté par l'antenne de l'étiquette et donnera l'accès aux informations contenues dans la puce, transmises ensuite à un serveur. Son déploiement est envisagé pour certains produits de santé.

Au terme de ce chapitre, nous retiendrons ce schéma de Poon et coll. (figure 3) [10] qui rappelle les principaux risques d'erreur pouvant survenir dans le circuit du médicament et illustre l'impact des nouvelles technologies de l'information et de la communication sur la réduction de chaque type d'erreur en fonction des données de la littérature.

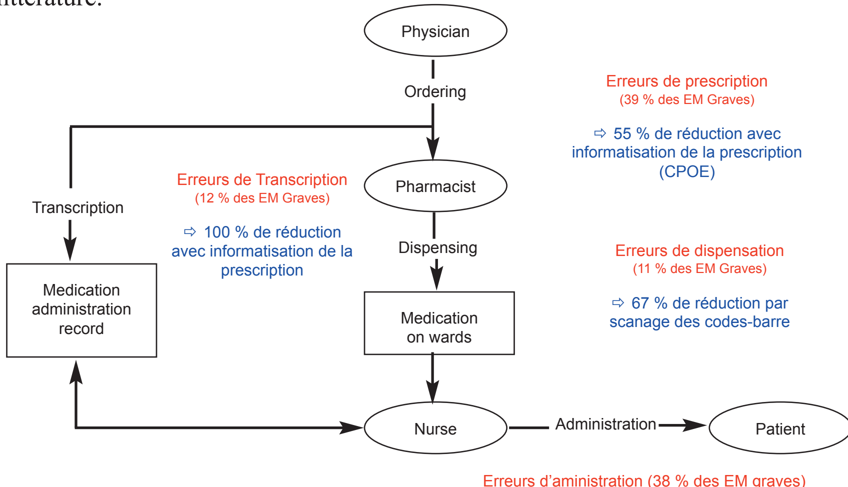


Figure 3.
Impact des NTIC sur le circuit des produits de santé.

4. Enjeux et perspectives

4.1. Enjeux

Afin de rendre les systèmes d'information (SI) plus performants, en particulier en termes de qualité et de sécurité des soins, la Direction générale de l'offre de soins (DGOS) a lancé, en novembre 2011, le programme Hôpital Numérique. La stratégie

Hôpital Numérique définit un plan de développement et de modernisation des systèmes d'information hospitaliers (SIH) et a pour but de fixer des priorités et des objectifs à six ans, en mobilisant tous les acteurs concernés et en accompagnant les établissements de santé dans leur transformation par les technologies de l'information et de la communication.

La stratégie Hôpital numérique se décline en un programme pragmatique et cohérent, agissant sur un ensemble de leviers :

- la détermination d'un socle de priorités que tous les établissements de santé doivent atteindre. Afin d'accompagner ceux-ci dans cette démarche, un plan de financement spécifique est proposé ;
- le renforcement des compétences des équipes et des professionnels de santé sur les aspects SI, en formation initiale et continue ;
- la mutualisation des compétences SI et des SI en tant que tels ;
- la déclinaison concrète des objectifs SI du niveau national au niveau local, en passant par les Agences régionales de santé (ARS), cela pour favoriser l'implication des professionnels de santé et des décideurs ;
- des mesures visant à stimuler et à structurer l'offre de solutions (homologation) et à soutenir les projets innovants.

Cependant, il convient de ne pas oublier que toutes les nouvelles technologies qui impliquent une nouvelle culture doivent être intégrées par le personnel à tous les niveaux. L'introduction de nouveaux outils de travail entraîne une multitude de changements, particulièrement en ce qui concerne l'organisation du travail, les activités à effectuer ainsi que les relations et les interactions entre les individus. C'est pourquoi, la formation des utilisateurs ainsi que la gestion de l'accompagnement au changement qui, par effet systémique, affectent d'autres processus, constituent également des facteurs clés de réussite pour tout projet d'intégration de NTIC.

Les enjeux de la demande de déploiement de NTIC dans la santé sont multiples, ils comprennent [11] :

- des enjeux d'organisation des soins, en tant que levier pour conduire la restructuration de l'offre de soins afin de garantir l'accès aux soins sur l'ensemble du territoire, répondre aux évolutions démographiques concernant les ressources médicales et techniques et à la spécialisation toujours plus poussée de la médecine ;
- des enjeux pour les patients et usagers du système de santé : améliorer la qualité et la sécurité des soins, garantir leur accessibilité ainsi que leur permanence, assurer un plus grand confort lors de la prise en charge dans le respect d'une qualité de vie optimale, améliorer l'accès à l'information ;
- des enjeux économiques liés au développement de nouveaux modes d'organisation des soins plus efficients ;
- des enjeux professionnels en termes de management et d'accompagnement du changement, d'information et de meilleure visibilité des différents acteurs dans le déploiement des projets et expérimentations de télémédecine.

Notons que si le recours aux NTIC est aujourd'hui souvent considéré comme une nécessité, il est rare que ces investissements fassent l'objet d'une évaluation monétaire en termes de *return.*

4.2. Perspectives : implémentation des nouvelles technologies dans les outils d'informatisation du circuit des produits de santé

L'informatisation du système de santé est composée de deux versants :

- l'informatisation du circuit des produits de santé telle que présentée infra ;
- l'implémentation des nouvelles technologies dans les outils d'informatisation du circuit des produits de santé.

L'implémentation des nouvelles technologies dans les outils d'informatisation du circuit des produits de santé permet de renforcer la sécurité d'utilisation des produits de santé. Voici quelques exemples…

Une équipe californienne a développé un logiciel permettant d'automatiser des algorithmes complexes en vue d'identifier et de grader les effets indésirables survenus chez le patient à travers l'exploitation des examens de laboratoire [12]. La comparaison des résultats obtenus avec ceux issus d'un recueil manuel a montré une amélioration substantielle de la détection, soit 17% d'effets indésirables de grade 3-4 non détectés par la méthode classique. Avec un temps de traitement moyen de 5,5 minutes sur 400 essais thérapeutiques en cours et la nécessité d'intégrer quelques 1800 résultats de laboratoire par essai, cet outil est d'un apport considérable sur la sécurité d'utilisation des médicaments.

Dans cet esprit, il est impératif de favoriser la prescription connectée d'examens de laboratoire et de s'assurer de la traçabilité de leur retour sur les écrans des cliniciens, en particulier les examens d'urgence mais aussi ceux effectués chez des patients en transit au sein de la structure de soin.

Un exemple concret d'aide au management de patient en temps réel grâce à ces nouvelles technologies peut être celui expérimenté par l'équipe de Park à Washington [13] qui a consisté à surveiller les thérapeutiques immunosuppressives instaurées chez des patients transplantés du foie. Les paramètres observés concernaient à la fois des éléments sur le donneur, des données peropératoires ou postopératoires. Le système de management automatisé était significativement associé à un plus faible taux de rejet et à moins de survenue d'effets toxiques du tacrolimus que le simple recueil papier. De plus, l'emploi d'un tel outil permet des économies notables si l'on tient compte du temps infirmier (197$ par patient versus 1703$ en méthode manuelle).

L'aide à l'observance apportée par les NTIC peut être illustrée via un logiciel de prescription électronique [14]. A travers cet outil, les médecins peuvent accéder aux informations relatives à la prise correcte de corticoïdes par inhalation chez leurs patients asthmatiques et à d'autres détails, ce qui incitait clairement les patients à être

plus observants.

Notons également le développement d'applications « patients » dédiées au suivi des maladies telles que les applications permettant aux diabétiques de suivre leur glycémie, aux malades du cancer de tenir un journal personnel pour le suivi de leur maladie en y enregistrant leurs rendez-vous de chimiothérapie, leurs traitements et certains effets indésirables. Renseigné quotidiennement par le patient sous forme de notes, il permet au patient de communiquer des informations à son médecin ou à son infirmière, comme les effets indésirables de la chimiothérapie du cancer.

La pharmacogénétique est l'étude de l'influence de la variabilité physiologique de notre génome en relation avec la réponse aux médicaments. Dans un futur proche, des puces à ADN permettant le génotypage simultané de plusieurs dizaines de milliers de polymorphismes seront prochainement disponibles pour des coûts de plus en plus bas. Il est probable que ces génotypages étendus pourront être réalisés à la naissance et les résultats intégrés dans notre carte de santé. On n'aura plus alors à attendre le résultat du génotypage avant de pouvoir choisir le traitement et/ou la dose ; nos logiciels de prescription nous indiqueront que le médicament choisi est soit contre-indiqué chez ce patient donné, soit qu'il convient de baisser la posologie de moitié, soit qu'il faut renforcer la surveillance vis-à-vis de tel ou tel événement indésirable.

Le Service de santé des armées est bien évidemment concerné par la mise en œuvre des NTIC sur l'ensemble de ses composantes. En voici quelques illustrations :

- les systèmes d'information logistique qui équipent les établissements de ravitaillement sanitaire en métropole et les unités de dispensation des produits de santé en OPEX permettent d'assurer la traçabilité des produits de santé. Ils contribuent à la sécurisation du circuit des produits de santé y compris sur les théâtres d'opérations extérieures ;
- le Logiciel Unique Médico-Militaire et médical (LUMM) permettra de constituer une base de données unique des dossiers médicaux des personnels de la Défense. Il répondra aux obligations du dossier médical partagé (DMP) tout en prenant en compte les spécificités médico-militaires ;
- le projet « info structure santé » (ISSAN) est un projet qui vise à disposer d'un outil complet de télésanté militaire. Le noyau dur sera constitué par le système d'information et de régulation médicale (SIRMED), qui permettra le renseignement du dossier médical dématérialisé du combattant et de le partager en temps réel avec l'ensemble des acteurs de la chaîne santé. Concernant les produits de santé, l'ensemble des prescriptions et administrations seront saisies dans le dossier médical du blessé.

5. Conclusion

Les nouvelles technologies de l'information et de la communication représentent (avec les biotechnologies) les innovations majeures de la fin du XXe siècle. Elles bouleverseront en profondeur nos sociétés dans un avenir proche.

Les NTIC apportent une réelle plus-value dans la sécurisation de l'utilisation des produits de santé : amélioration de la continuité des soins, partage de l'information médicale, insertion du patient dans le processus de soins, diminution du nombre et de la gravité des erreurs médicales par l'accès à l'information, amélioration de la qualité des soins en fournissant les informations décisionnelles médicales, sociales, médico-économiques.

Cette mutation donnera accès aux professionnels de la santé à des outils qui leur permettront d'optimiser le pilotage, la gestion, le suivi du parcours du patient.

« Le système de santé du futur » qui transcende la relation duale ville-hôpital devient ainsi chaque année plus concret.

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de la leçon de 24 heures (par ordre alphabétique) : David Almeras, Xavier Armoiry, Fabrice Biot, Axel Carde, Franck Ceppa, Corinne Dot, Françoise Ferval, Catherine Massoubre, Médéric Rouault, Emmanuel Vittori.

Références bibliographiques

[1] American Society of Hospital Pharmacist (ASHP Reports). Draft guidelines on preventable medication errors. Am J Hosp Pharm 1992;49:640-8.

[2] Décret n°2005-1023 du 24 août 2005 relatif au contrat de bon usage des médicaments et des produits et prestations mentionné à l'article L. 162-22-7 du Code de la sécurité sociale

[3] Michel P, Lathelize M, Quenon JL, Bru-Sonnet R, Domecq S, Kret M. Enquête Nationale sur les Evénements Indésirables graves liés aux Soins 2009 (ENEIS2) : description des résultats 2009. Rapport final à la DREES (ministère du Travail, de l'emploi et de la Santé), Février 2011.CCECQA, Bordeaux 2011.

[4] Bates DW, Cullen DJ, Laird N, et al. Incidence of adverse drug events and potential adverse drug events. Implications for prevention. ADE Prevention Study Group. Jama 1995;274:29-34.

[5] Bernheim C, Schmitt E, Dufay E. Iatrogénie médicamenteuse nosocomiale et gestion des risques d'erreurs médicamenteuse à propos de l'analyse des notifications du réseau REEM. Oncologie 2005;7:104-19.

[6] National Coordinating Council for Medication Error Reporting and Prevention. NCC MERP Taxonomy of Medication Errors. NCC MERP 1998. http://www.nccmerp.org/pdf/taxo2001-07-31.pdf, consulté le 10 mars 2014.

[7] Ministère de la Santé et des Sports Direction de l'Hospitalisation et de l'Organisation des Soins Rapport « La place de la télémédecine dans l'organisation des soins » établi par Pierre Simon et Dominique Acker Conseillers généraux des

établissements de santé Novembre 2008.

[8] Dussart C, Petit C (ouvrage collectif). E-learning en santé : de la recherche au terrain. Traité IC2, série management et gestion des STIC. Hermes Sciences Editions - Lavoisier, Paris, 2007:236 p.

[9] Avis aux titulaires d'autorisation de mise sur le marché de médicaments à usage humain et aux pharmaciens responsables des établissements pharmaceutiques mentionnés à l'article R. 5124-2 CSP Journal officiel du 16 mars 2007

[10] Poon EG, Keohane CA, Yoon CS, Ditmore M, Bane A, Levtzion-Korach O, et al. Effect of bar-code technology on the safety of medication administration. N Engl J Med. 2010;362(18):1698-707.

[11] Note de cadrage « Efficience de la télémédecine : état des lieux de la littérature internationale et cadre d'évaluation »HAS / Service évaluation économique et santé publique. Juin 2011

[12] Niland JC, Stiller T, Neat J, et al. Improving patient safety via automated laboratory-based adverse event grading. J Am Med Inform Assoc 2012;19:111-5.

[13] Park ES, Peccoud MR, Wicks KA, Halldorson JB, Carithers RL Jr, Reyes JD, et al. Use of an automated clinical management system improves outpatient immunosuppressive care following liver transplantation. J Am Med Inform Assoc 2010;17:396-402.

[14] Williams LK, Peterson EL, Wells K, Campbell J, Wang M, Chowdhry VK, et al. A cluster-randomized trial to provide clinicians inhaled corticosteroid adherence information for their patients with asthma. J Allergy Clin Immunol. 2010;126:225-31.

Expositions chimiques des militaires en environnement opérationnel : comment les évaluer ?

Jean-Ulrich Mullot

1. Introduction

L'exposition de militaires en environnement opérationnel à des substances chimiques (hors cas particulier des attaques type Nucléaire, Radiologique, Biologique et Chimique [NRBC] non traité ici, n'est pas une problématique nouvelle : dès le conflit au Vietnam par exemple, des questions se sont posées au sujet de la contamination par les dioxines de l'agent Orange (défoliant) et les risques sanitaires associés pour les personnels américains en charge de la manipulation de ce produit [1, 2].

Bien qu'ancienne donc, la prise en compte de ces questions dans les conflits modernes a beaucoup évolué, nous en fournirons des exemples ci-après. De nombreux auteurs voient dans ces évolutions récentes l'effet combiné de plusieurs phénomènes [3-5] :

- le choc psychologique et surtout médiatique suscité par ce qui a été désigné comme le « syndrome de la guerre du Golfe », dont l'existence en tant qu'entité nosologique à part entière et les déterminants restent aujourd'hui très discutés [6, 7]. À la fin des années 2000 toutefois, l'opinion acquise à l'idée de conflits générateurs de « zéro mort » découvre que la morbidité associée à l'envoi d'hommes dans des conditions très particulières, avec de multiples expositions possibles (puits de pétrole en feu, antidotes, sous-produits d'armes chimiques etc.), peut être à l'origine d'un nombre de victimes bien plus grand encore avec des possibles séquelles post-déploiement [8] ;
- la sédentarisation des conflits modernes en milieu urbain, industrialisé, plus à risque que les historiques conflits mobiles en périphérie des villes (dans « la campagne ») ;
- la diminution de la morbi-mortalité par l'effet direct des conflits, mettant en avant les causes indirectes comme les expositions chimiques ;
- l'augmentation des préoccupations sociétales en rapport avec la protection de la santé et les risques environnementaux ainsi qu'un recours plus systématique à la judiciarisation ;
- les progrès et la généralisation des outils scientifiques et méthodes permettant d'identifier et de mesurer ces expositions.

Au gré de ces évolutions, il est devenu indispensable dans les pays industrialisés d'évaluer les risques sanitaires associés à l'exposition à des substances chimiques, y compris de militaires dans l'exercice de leurs fonctions, même en situation

opérationnelle [3, 4]. Ceci contribue à maintenir la confiance des combattants et permet d'éclairer le commandement sur les nécessaires mesures de gestion à adopter selon les cas (prévention primaire ou secondaire, réparation…). Si des progrès majeurs ont été réalisés pour mesurer ces expositions, concrétisés lors d'expériences que nous rapporterons comme la mesure du plomb atmosphérique pendant le conflit au Kosovo, des exemples récents démontrent toutefois qu'il reste une intéressante marge de progression. Pour ne citer que quelques exemples, alors même que ce pays possède en la matière une doctrine relativement robuste, le sénateur américain Wyden (Oregon) dans une lettre au secrétaire d'état à la Défense l'interpellait en 2012 sur la connaissance de la qualité de l'air à Kaboul, pour lui insuffisante, au regard des risques perçus localement par les troupes déployées (lettre disponible: *http://www.wyden.senate.gov/news/press-releases/wyden-letter-raises-concerns-about-effect-of-fghan-air-pollution-on-us-servicemembers*). Dans le même ordre d'idée, le rapport de l'Académie nationale des sciences sur les risques associés aux expositions à des fumées d'incinérateurs de campagne concluait à une insuffisance de données d'exposition pour évaluer les risques sanitaires [9].

Dans ce contexte, nous nous sommes attachés à proposer à moyen et long terme des pistes permettant au Service de santé des armées (SSA) et à la Direction générale de l'armement (DGA) de mieux prendre en compte les expositions des militaires en environnement opérationnel. Le double public visé, DGA et SSA, trouve sa cohérence dans le fait que le premier est le fournisseur de tous les systèmes d'armes utilisés par les militaires, à l'origine d'une partie de leurs expositions opérationnelles (par exemple, l'uranium des obus perforants) alors que le second est le conseiller du commandement pour l'évaluation et la gestion de ces risques en situation opérationnelle, continuité logique de sa mission de soutien santé des forces. Par ailleurs, en cas de besoin capacitaire important dans ce domaine, la DGA possède la mission, la structure et les financements permettant d'apporter des réponses à long terme, si besoin via des actions de recherche dans le domaine du soutien de l'Homme. Notre propos se concentrera sur les risques associés à des substances chimiques et/ou radionucléides en environnement opérationnel, hors menaces liées à des toxiques de la convention d'interdiction des armes chimiques et hors risques biologiques. Ce champ est particulièrement vaste puisqu'il recouvre les risques environnementaux (installations industrielles vétustes, pollutions historiques, pays dans lesquels subsistent des bâtiments amiantés…) ou liés aux activités opérationnelles des militaires lors d'un déploiement (munitions, installations de traitement des déchets de campagne…). Par facilité de compréhension, nous assimilerons l'environnement opérationnel au déploiement en opération extérieure mais ce choix nous semble dimensionnant : si nous savons mieux évaluer les expositions en opération extérieure, loin de nos bases et sous faible préavis en milieu sommairement équipé, alors nous saurons certainement mieux les évaluer dans d'autres situations opérationnelles moins complexes comme les entrainements ou la participation aux opérations intérieures.

Proposer des pistes d'amélioration pour la prise en compte des expositions décrites ci-avant nécessite tout d'abord un bref rappel sur la place de l'expologie dans l'évaluation quantitative des risques puis une description des acteurs militaires (DGA et SSA) actuellement impliqués dans des évaluations.

2. Place de l'expologie dans la démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires

La démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS), telle qu'elle est actuellement appliquée dans de nombreux pays, a été théorisée par l'Académie nationale des sciences américaine en 1983 [10]. Présentée comme une démarche de quantification des expositions et des risques liés à un agent permettant de guider les décisions de protection sanitaire, elle repose sur l'enchaînement logique de quatre étapes distinctes (figure 1), même si la réalité est rarement aussi linéaire [11] :

- la première étape est l'identification des dangers. Elle consiste à préciser de manière qualitative, les propriétés dangereuses pour la santé humaine de l'agent auquel des personnes sont exposées ;

- la seconde étape consiste à décrire la relation dose-réponse, c'est-à-dire la relation qui existe entre une dose administrée ou reçue d'un agent dangereux et l'intensité ou la probabilité de survenue d'un effet sanitaire néfaste ;

- la troisième étape, sur laquelle nous nous concentrerons ici, consiste à évaluer l'exposition des personnels, c'est-à-dire à documenter l'intensité, la fréquence et la durée du contact de tout ou partie des personnes exposées avec l'agent dangereux. Cette évaluation peut être théorique si on s'intéresse à une activité, opération ou système d'armes non encore existant, mais elle peut également être très pratique et reposer sur des mesurages si la situation d'exposition existe ;

- enfin, la dernière étape consiste en la caractérisation du risque. Cette étape représente une synthèse des précédentes, elle répond aux questions posées par l'EQRS, agent par agent, effet sanitaire par effet sanitaire.

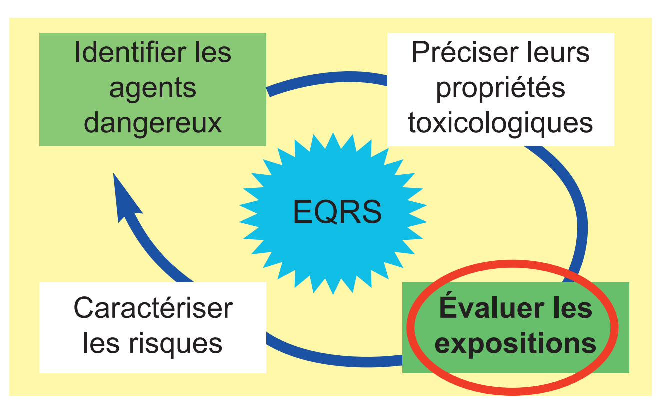


Figure 1
Principe de la démarche d'évaluation des risques sanitaires.

Il a été souligné dès 1983 que l'étape d'évaluation quantitative des risques sanitaires devait, dans toute la mesure du possible, être clairement distincte de l'étape de gestion des risques : elle la précède mais les acteurs et les contraintes sont différents. Très grossièrement, l'étape d'EQRS ne doit s'appuyer que sur des faits scientifiques argumentés : données toxicologiques, modèles, dosages, etc…À l'inverse, la gestion des risques ainsi mis en évidence peut et doit intégrer d'autres contraintes : faisabilité technique, existence d'alternative, acceptabilité sociétale, contraintes économiques… En pratique aujourd'hui le SSA voit son rôle de conseiller très partagé entre l'évaluation et la gestion.

L'étape d'évaluation des expositions sur laquelle se concentre cet article pourrait sembler faussement simple. Il n'en est rien et certains pays ont fait de cette discipline une science à part entière nommée expologie, ce qui n'est pas le cas en France [2, 12]. L'expologie, dont le but ultime est de décrire dans toutes ses dimensions, le contact entre un agent dangereux et un individu, nécessite de documenter *a minima* :

- les niveaux de contamination des milieux avec lesquels l'Homme est en contact (air, eau, sols, aliments). Ceci peut passer par la réalisation de mesures dans les milieux et/ou par des outils de modélisation ;

- les scénarios d'exposition, c'est-à-dire une description aussi documentée que possible des conditions dans lesquelles le personnel est en contact avec les milieux contaminés par un agent dangereux : fréquence, durée, nombre de répétitions dans le temps, barrières en contact (peau, poumon, tractus digestif, œil) ;

- les variables d'exposition humaine. Derrière ce terme se cachent des centaines ou milliers de chiffres donnant une description mathématique des situations étudiées, idéalement accompagnés d'une distribution statistique pour tenir compte de la variabilité humaine : volume d'air inspiré par jour, temps de contact avec un sol (potentiellement contaminé) lors d'activités de loisir ou professionnelles, quantité de tel ou tel aliment ingérée quotidiennement, temps passé à l'intérieur d'un logement ... Afin de simplifier les exercices d'EQRS, il est habituel de décrire ces variables pour un nombre limité de groupes de personnels « semblables », dit groupes homogènes d'exposition et de leur associer des budgets espace-temps [13] ;

- les propriétés toxicocinétiques de l'agent dangereux, à savoir la manière dont il se répartit et/ou transforme dans un organisme humain entre les surfaces en contact avec le milieu contaminé et la cible moléculaire ou cellulaire de cet agent. Ces données sont essentielles lorsque des personnels sont exposés à un agent chimique ou un radionucléide par plusieurs voies puisqu'elles permettent au final d'agréger des données aussi éparses qu'une exposition par voie cutanée ou une ingestion du même toxique.

Dans un exercice d'expologie bien documenté, la traduction mathématique de ces données aboutit à des équations permettant de quantifier l'intensité du contact entre un ou plusieurs agents chimiques ou radionucléides et un personnel dans un ou plusieurs groupes homogènes d'exposition.

En secteur militaire comme en secteur civil donc, l'évaluation des expositions est l'une des étapes indispensables à la réalisation des évaluations des risques sanitaires rendues nécessaires par les évolutions des conditions d'engagement et des mentalités décrites précédemment. Au sein de la DGA comme du SSA, certains services spécialisés ont pour mission la réalisation de ces évaluations d'expositions en environnement opérationnel et cette mission s'est concrétisée ces dernières années par la mise à disposition de la communauté scientifique militaire de données essentielles pour évaluer certains risques sanitaires. Avant de proposer des pistes d'amélioration concernant les expositions chimiques de militaires en environnement opérationnel, nous décrirons les services du SSA et de la DGA impliqués et donnerons quelques exemples de réalisations récentes.

3. Quelques acteurs et exemples récents d'évaluation des expositions en environnement opérationnel

Au sein du Service de santé des armées, le Bureau « expertise des risques sanitaires » (BERS), rattaché à la sous-direction « Plans capacités » joue un rôle particulier dans l'évaluation des expositions en environnement opérationnel [14]. Point focal des questions posées par le commandement en la matière, le BERS apporte des réponses en s'appuyant sur son expertise propre mais également sur un vivier d'experts du SSA dans des disciplines très complémentaires : épidémiologie, toxicologie, risque NRBC. Ces experts appartiennent à plusieurs organismes du SSA ou hors SSA dont les missions, dès le temps de paix, peuvent être orientées autour de l'évaluation des expositions et des risques sanitaires pour le combattant. Pour le SSA, ces organismes sont essentiellement : l'Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA), le Service de protection radiologique des armées (SPRA), le Centre d'épidémiologie et de santé publique des armées(CESPA) mais également les Hôpitaux d'instruction des armées (HIA) et les Centres médicaux des armées (CMA). Pour les organismes hors SSA, il s'agit essentiellement des Laboratoires d'analyses de surveillance et d'expertise de la Marine (LASEM), de l'Institut de recherches criminologiques de la Gendarmerie Nationale (IRCGN) et de laboratoires spécialisés de la DGA.

Au sein de la DGA, les services spécialisés dans l'évaluation des expositions et des risques sanitaires sont répartis au sein des « métiers » structurant l'organisation de la DGA. Ainsi, on trouvera des experts de ces questions pour la DGA :

- dans le métier « plateforme navale » au sein de DGA-TN avec un service spécialisé dans l'évaluation des risques associés aux atmosphères confinées des bâtiments submersibles ;

- dans le métier « NRBC » au sein de DGA-MNRBC avec des laboratoires spécialisés dans l'évaluation des risques particuliers du domaine NRBC au sein du centre de recherches de Vert-le-Petit dédié à ces questions ;

- dans le métier « Ingénierie des Projets » au sein de DGA-IP avec un service dédié à l'évaluation des risques associés à la mise en œuvre des systèmes d'armes en phase de conception.

Ces dernières années, plusieurs experts de ces services ont illustré par des exemples concrets l'apport possible de la DGA et du SSA à l'évaluation des expositions en situation opérationnelle : nous détaillerons ici trois exemples assez caractéristiques sans volonté d'exhaustivité.

Le premier exemple est l'évaluation dosimétrique réalisée conjointement par la DGA et le SPRA en réponse aux questions sanitaires imposées par l'utilisation de munitions contenant de l'uranium appauvri pendant la guerre du Golfe et le conflit des Balkans. En combinant des études expérimentales et des calculs issus de modélisation, ces deux services ont été en mesure d'apporter au commandement des chiffres décisifs sur les doses engagées « vie entière » pour des militaires exposés à l'uranium appauvri dans différentes circonstances opérationnelles (inhalation d'aérosols, de fumées d'incendie, manipulation d'un obus).

Le second exemple est l'évaluation de l'exposition des militaires français au plomb d'origine atmosphérique pendant les premiers mois du déploiement à Mitrovica (Kosovo) en raison de la proximité d'une usine de fabrication/raffinage de ce métal. L'évaluation des expositions diligentée par la DCSSA a été réalisée en pratique en 2001 et 2002 par le LASEM de Toulon et a conduit à des données de contamination de l'air nécessitant la prise de décisions organisationnelles et médicales [11, 15]. Cette évaluation des expositions a également nécessité un volet biométrologique initialement confié aux laboratoires des HIA.

Le troisième et dernier exemple enfin est plus récent puisqu'il s'agit de l'évaluation des expositions à différents toxiques chimiques (particules fines), biologiques (bactéries et endotoxines) et à des radionucléides pour les militaires français déployés à Kaboul [16]. Lors de cette mission réalisée en 2012 et placée sous la responsabilité du BERS, différents laboratoires du SSA, de la Marine nationale et de la DGA employant des personnels du SSA ont été sollicités et ont pu apporter, là encore, des éléments relativement précis pour évaluer les expositions des militaires français déployés.

Bien que constituant des exemples représentatifs des possibilités par la DGA et le SSA de mobiliser des moyens importants pour documenter les expositions – et ensuite évaluer les risques sanitaires associés – en environnement opérationnel, l'étude approfondie de ces exemples et d'autres non cités apporte un éclairage sur des possibilités d'amélioration des pratiques que nous avons regroupées ci-après sous la forme de dix propositions (figure 2). Ces propositions constituent des axes de réflexion pour mieux évaluer à l'avenir les expositions des militaires dans l'exercice de leur métier si particulier : il nous semble en effet que l'importance de ces questions ne sera pas moindre dans les années à venir que par le passé.

1. Renforcer la veille environnementale
2. Être associé à la conception des systèmes
3. Faire recenser les budgets espace-temps
4. Synthétiser et prioriser
5. Équiper les forces armées de moyens de mesure des expositions
6. Pérenniser les capacités de laboratoire à même d'analyser les échantillons réalisés
7. Coordonner les capacités de prélèvement et d'analyse
8. Développer au sein du SSA une capacité de biométrologie individuelle
9. Accroître l'utilisation des moyens de modernisation

10 FORMATION

4. Dix propositions d'amélioration

4.1. Avant les expositions

Sans prétendre « refaire l'Histoire », le cas de l'uranium appauvri est relativement illustratif d'un cloisonnement des connaissances puisque, alors que les différents services d'armement de pays industrialisés développent ces systèmes depuis plusieurs années, les personnels en charge de la surveillance de la santé des militaires semblent « découvrir » ce risque lors des premières utilisations en environnement opérationnel pendant la guerre du Golfe. De la même manière, alors que des publications scientifiques évoquaient cette situation [17], il fallut attendre quelques semaines après le déploiement à Mitrovica pour mettre en place des mesures actives d'évaluation. Les quatre mesures que nous présentons « avant les expositions » ont donc pour objectif d'améliorer la collecte et le traitement des renseignements permettant de prévenir les expositions aux agents chimiques ou radionucléides liés aux systèmes d'armes ou aux théâtres d'opération eux-mêmes.

La première proposition, du ressort du SSA, est de renforcer la veille environnementale autour des risques chimiques. La veille sanitaire a priori sur les différents théâtres est regroupée au sein d'une base de données appelée « Bedouin » pour Banque Épidémiologique de Données sur l'OUtre-mer et la zone INter-tropicale [18]. Initialement très documentée pour les risques biologiques, cette base s'est progressivement enrichie d'éléments, connus avant le déploiement sur un théâtre, en rapport avec l'environnement physique et technologique d'un pays et les risques sanitaires associés. Par compilation d'informations provenant de sources ouvertes, il est actuellement possible de dresser des cartes relativement détaillées des risques technologiques et environnementaux, pays par pays (figure 3) avant un déploiement : cette démarche nécessite d'être accentuée et pérennisée.

La seconde proposition, du ressort simultané de la DGA et du SSA, serait d'instaurer un dialogue permanent afin que ces deux services soient associés dès la

conception des systèmes d'armes afin de partager les opportunités et moyens d'évaluation des risques sanitaires *a priori* (en phase de validation des systèmes) et, idéalement, de partager les conclusions des EQRS avant la mise à disposition des combattants d'un nouveau système d'armes. Plusieurs forums de discussion en ce sens ont émergé ces derniers mois (groupe de travail toxicologique DGA-SSA par exemple) et doivent trouver un rythme de croisière.

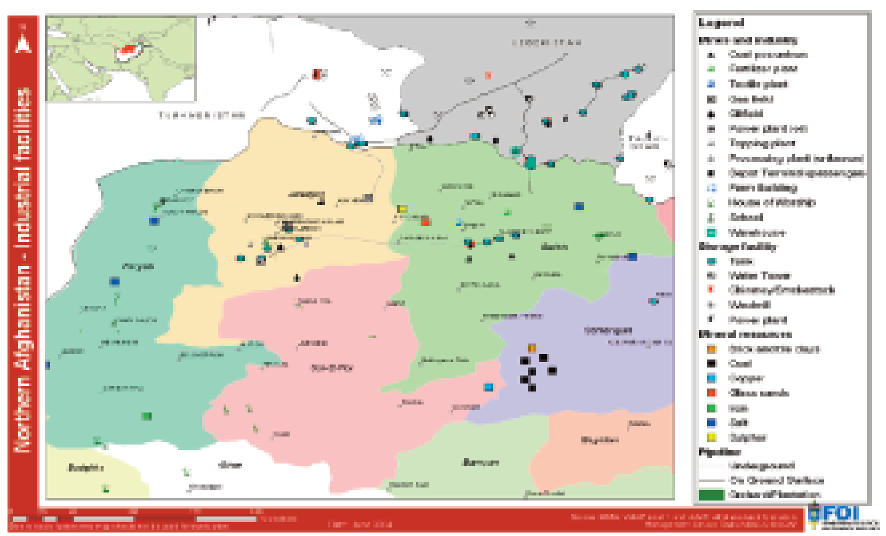


Figure 3.
Exemple d'évaluation *a priori* des risques chimiques en Afghanistan, d'après [19].

La troisième proposition est d'effectuer a *priori* un recensement chiffré de toutes les variables nécessaires à l'établissement de budgets espace-temps pour les militaires [16]. Pour évaluer les expositions de militaires en situation opérationnelle il importerait d'obtenir une description aussi précise que possible de leurs activités : pour ne citer que cet exemple trivial en cas de contamination de l'air « extérieur » sur un théâtre, l'évaluation des militaires fréquentant ce théâtre nécessite de connaitre, pour différents groupes de personnels, le temps passé dehors, dans des bâtiments, dans des véhicules automobiles dont l'air est filtré… Toutes ces variables, relativement accessibles pour des populations civiles [20] sont peu colligées pour les populations militaires alors que leur précision est déterminante pour une bonne évaluation des expositions en environnement opérationnel.

La quatrième proposition enfin, nait d'un constat déjà effectué par d'autres pays ayant systématisé la collecte des informations nécessaires à l'évaluation des risques sanitaires en opération : la facilité à trouver des données brutes actuellement risque d'aboutir très rapidement à une saturation des canaux d'information, sans hiérarchie, au risque d'être contreproductif et de laisser penser que tout théâtre est très risqué « chimiquement », sans discrimination. Notre quatrième proposition serait donc, une

fois le recensement des données prévues dans les trois premières propositions initié, de procéder à un regroupement des informations, à une priorisation des risques (reposant sur des outils dédiés, à créer) et à une mise à disposition de ces informations accompagnées d'un jugement professionnel, pondéré, au profit de la communauté scientifique militaire.

4.2. Pendant les expositions

Les propositions que nous formulons pour améliorer la connaissance des expositions de militaires, pendant les déploiements (et donc pendant les expositions potentielles à des risques chimiques/radiologiques) ont pour objectif de se doter de matériels et de méthodes permettant une collecte quasi-systématique d'informations ou d'échantillons, même si la veille environnementale ou les premiers temps de ce déploiement ne mettent pas en évidence de risque particulier. Il s'agit pour l'essentiel de développer des outils afin d'améliorer la traçabilité des expositions lorsqu'elles ont lieu [6].

Dans ce contexte, notre cinquième proposition est de doter les forces armées de moyens de mesurer leurs expositions. Ces moyens, variables selon le toxique considéré, peuvent être individuels ou collectifs. Il s'agira le plus souvent de moyens d'échantillonnage comme des dosimètres passifs, des pompes ou des contenants particuliers car les moyens à lecture directe ont un spectre de possibilités plus limité. Dans tous les cas, ces moyens devront être choisis en fonction des contraintes associées à un déploiement opérationnel (robustesse, faible coût, limitation des besoins en énergie...). Ils devront être approvisionnés et pré-positionnés afin de pouvoir être rapidement disponibles et par la suite utilisables dès les premières phases d'un déploiement (souvent très exposantes). Il nous semble que les progrès réalisés récemment en matière d'équipements de collecte d'échantillons rendent aujourd'hui possible et crédible cette réflexion : lors de l'exemple de l'évaluation de la qualité de l'air à Kaboul, le volet chimique a été réalisé avec des moyens particulièrement adaptés au déploiement et d'une empreinte limitée.

Lorsque ces moyens de collecte d'échantillons environnementaux auront été largement déployés, il conviendra de pérenniser, voire de développer, les capacités de laboratoires militaires et/ou civils à même de traiter le grand nombre d'échantillons ainsi générés. Les formats actuels du SPRA ou des LASEM sont adaptés à des missions ponctuelles dans le temps mais pourraient devoir évoluer si la collecte d'échantillons se systématise afin d'offrir une image plus complète des expositions en situation environnementale. C'est le sens de notre sixième proposition : pérenniser les capacités des laboratoires à même d'analyser les échantillons réalisés avec toutes les garanties de qualité (accréditation) et de traçabilité exigées par les enjeux sanitaires associés [11].

Si ces capacités de prélèvement et d'analyse deviennent une réalité, la septième proposition sera d'assurer leur coordination dans le cadre d'un réseau national réactif,

piloté (par exemple par le BERS) et structuré par des contrats opérationnels entre des acteurs appartenant à des structures différentes (DGA, SSA, Marine…). À l'image du réseau des laboratoires Biotox-Piratox par exemple, il s'agit non pas de créer des structures nouvelles, mais d'en assurer la coordination et la montée en puissance en cas de besoin [21]. Un tel réseau dédié aux évaluations de risques opérationnels pourrait ensuite s'ouvrir, interopérer avec nos partenaires dans le monde de la Défense tant il fait défaut aujourd'hui à l'échelle européenne (Agence de défense européenne) ou mondiale (Organisation du Traité de l'Atlantique Nord [OTAN]) alors même que le constat sur les enjeux sanitaires semble relativement partagé.

4.3. Après les expositions

Même si toutes ces propositions étaient concrétisées, prétendre anticiper et mesurer les expositions en situation opérationnelle en tout temps et en tous lieux serait illusoire. L'objectif des deux dernières propositions que nous formulons « après les expositions » est donc de se doter de moyens permettant une évaluation rétrospective des expositions de militaires lorsque/si les mesures directes n'ont pas pu être effectuées ou sont insuffisantes.

La huitième proposition en ce sens, plutôt du ressort du SSA, est de développer une capacité de biométrologie individuelle. Dans de nombreuses situations les fluides biologiques de personnes exposées à des risques chimiques et/ou radiologiques offrent une opportunité unique d'objectiver les expositions [2, 22], de les mesurer et d'évaluer leurs effets dans une perspective de prise en charge médicale. Il est par exemple démontré que l'on peut encore détecter aujourd'hui des signes chimiques d'exposition à l'uranium appauvri par l'analyse d'urine de militaires contaminés pendant la guerre du Golfe [23]. Les biomarqueurs à rechercher sont aussi spécifiques que le sont les expositions des militaires et donc non nécessairement partagés avec la communauté scientifique civile : ceci nous semble justifier le déploiement d'une capacité biométrologique dédiée aux expositions opérationnelles au sein du SSA, de qualité reconnue et traçable.

La neuvième proposition enfin, plutôt du ressort de la DGA, est de développer une capacité de modélisation des expositions chimiques ou radiologiques utilisant des moyens informatisés et souples d'emploi, permettant une reconstruction des doses *a posterior*i en complément ou en substitution des autres outils.

À l'issue de ces neuf propositions il apparait que, même si seulement une minorité d'entre elles devient une réalité (certaines actions étant déjà en voie d'engagement lors de la rédaction de cet article), la prise en compte des expositions en environnement opérationnel sera très différente demain de ce qu'elle était hier. Ce changement de pratiques, de mentalités, d'outils … doit être accompagné d'actions fortes de formation. Il s'agit là de notre dixième et dernière proposition, transversale donc : renforcer la formation des personnels médicaux et non médicaux afin que ceux-ci puissent participer aux actions de prélèvement, aux évaluations d'exposition et enfin à l'interprétation sanitaire des résultats produits.

5. Conclusion

Il nous semble que l'évaluation des risques sanitaires en environnement opérationnel – depuis les entrainements en situation quasi-réelle jusqu'aux conflits de forte intensité – est une nécessité, soutenue par l'Histoire et les évolutions sociétales. Le spectre des menaces à évaluer est large mais la méthode d'évaluation quantitative des risques sanitaires est unifiante, permettant une évaluation et une gestion adaptées. Au sein de cette démarche nous avons réalisé un focus particulier sur la question de l'évaluation des expositions, pour nous centrale, puisque préalable à la traçabilité et sous-tendant l'EQRS. Dix propositions d'amélioration à moyen et long terme ont été formulées pour mieux évaluer, à l'avenir, les expositions à des toxiques chimiques ou radionucléides en situation opérationnelle. En la matière, il nous semble que la DGA et le Service de santé des armées disposent de personnels formés, de services dédiés et d'expériences de travail en commun rendant crédible la réalisation de tout ou partie de ces propositions.

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de la leçon de 24 heures (par ordre alphabétique) : Ingrid Allio, Aurore Bousquet, Alain Cazoulat, Gilles Créhange, Hervé Delacour, Laurent Gérault, Olivier Roussel, Christophe Rousselle, Stéphanie Watier-Grillot.

Références bibliographiques

[1] Richards EE. Responses to Occupational and Environmental Exposures in the US Military – World War II to the Present. Mil Med 2011;176:22-8.
[2] Lioy PJ. Exposure Science for Terrorist Attacks and Theaters of Military Conflict: Minimizing Contact With Toxicants. Mil Med 2011;176(7):71-7.
[3] Brunot J, Couzineau B, Boulais C, Sartou-Montengou M, Delolme H. Maîtrise de l'environnement biologique et technologique. Hygiène et sécurité des militaires en opérations. Médecine et Armées 2001;19:535-7.
[4] Créange G, Dyèvre P, Marrionet J. Hygiène et Sécurité en Opérations (HSO). Médecine et Armées 2006;34:437-40.
[5] Delacour H, Servonnet A, Vittori E, Simon L, Aupée O, Ramirez JM, et al. Risque chimique industriel en opérations extérieures. Médecine et Armées 2004;32:134-42.
[6] Ferrand JF, Mérat F, Le Marquand C, Sarthou-Moutengou M, Viance P. Les documents, supports de la traçabilité des expositions professionnelles du personnel militaire. Médecine et Armées 2012;40:61-9.
[7] Institute of Medicine. Chronic Multisymptom Illness in Gulf War Veterans: Case Definitions Reexamined. Washington, DC: The National Academies Press, 2014. 130 pages.

[8] Research Advisory Committee on Gulf War Veterans' Illnesses. Gulf War Illness and the Health of Gulf War Veterans: Scientific Findings and Recommendations. Washington, DC: US Government Printing Office, November 2008: 455 pages.

[9] Institute of Medicine. Long-Term Health Consequences of Exposure to Burn Pits in Iraq and Afghanistan. Washington, DC: The National Academies Press, 2011. 192 pages.

[10] National Research Council. Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. Washington, DC: The National Academies Press, 1983. 191 pages.

[11] Mullot JU, Huart B. Évaluation des risques sanitaires. Quelle place pour les laboratoires ? Médecine et Armées 2006;34:415-20.

[12] Pleil JD, Blount BC, Waidyanatha S, Harper H. Establishing exposure science as a distinct scientific discipline. J Expo Sci Environ Epidemiol 2012;22:317-9.

[13] Tardy G, Kairo C, Dereumaux C, Levi Y. Variables humaines d'exposition en France : bilan des données disponibles et perspectives. Environnement, Risques & Santé 2012;12:54-67.

[14] Arrêté du 9 novembre 2012 portant organisation du Service de santé des armées. Journal Officiel du 27 novembre 2012, texte 7 sur 88.

[15] Cuney T, Boulais C, Olichon D, Ledrans M, Rudelle D, Brunot J, et al. Évaluation et surveillance de l'exposition au plomb des militaires français à Mitrovica, Kosovo. BEH 2002;34:65-7.

[16] Breton D, Cazoulat A, Bohand S, Laroche P, Mullot JU. Hiérachisation des risques sanitaires d'origine environnementale lors d'opérations militaires extérieures. Environnement, Risques & Santé 2012;11:502-10.

[17] Factor-Litvak P, Graziano JH, Kline JK., Popovac D., Mehmeti A., Ahmedi G. et al. A prospective study of birthweight and length of gestation in a population surrounding a lead smelter in Kosovo, Yugoslavia. Int J Epidemiol 1991;20:722-8.

[18] Tanti M, Faure N, Hupin C, Deparis X. Pandémie grippale 2009 dans les armées : l'expérience du veilleur. Médecine et Armées 2012;40:389-96.

[19] Edlund C, Liljedahl B, Waleij A, Lindblad A, Melin L, Normark M, et al. Northern Afghanistan – Environmental and Health Hazards to Personnel to be Deployed to Northern Afghanistan. Pre-deployment assessment. FOI Swedish Defense Research Agency, Report FOI-R-1287-SE, June 2004:100 pages.

[20] US EPA. Highlights of the Exposure Factors Handbook (Final Report). US Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-10/030, 2011: 65 pages.

[21] Binder P. Le réseau national des laboratoires Biotox-Piratox : un réseau de réseaux intégrés pour répondre aux besoins d'analyses face à une menace terroriste. EuroReference 2012 ; 7 : 17-21. Accessible à l'adresse http://www.anses.fr/euroreference/numero7/PNT301.htm

[22] Scheepers PT, Bos PM, Konings J, Janssen NA, Grievink L. Application of biological monitoring for exposure assessment following chemical incidents: a procedure for decision making. J Expo Sci Environ Epidemiol 2011; 21: 247-61.
[23] Hines SE, Gucer P, Kligerman S, Breyer R, Centeno J, Gaitens J, et al. Pulmonary health effects in Gulf War I service members exposed to depleted uranium. J Occup Environ Med 2013;55:937-44.

Chaire de biologie clinique appliquée aux armées et risque biologique

Les enjeux liés aux bactéries multirésistantes en opérations extérieures

Audrey Mérens ép. Gontier

1. Introduction

La résistance bactérienne aux antibiotiques est un problème majeur de santé publique, d'autant plus préoccupant que peu de nouveaux antibiotiques sont en cours de développement. La prévalence de ces résistances, multirésistances, voire totorésistances est plus importante dans les régions subtropicales où le militaire peut être projeté. De façon générale, l'enjeu de ces multirésistances aux antibiotiques pour les Armées se décline en deux facettes :

- pour le militaire n'ayant présenté aucun souci de santé au cours de la mission, se pose la question de la modification de la flore digestive suite au séjour, avec le risque d'acquisition d'un portage de bactéries multirésistantes (BMR). La problématique s'apparente à celle de l'acquisition de BMR chez le voyageur. À l'échelon collectif, elle illustre les risques d'importation de BMR à partir de l'étranger et de diffusion secondaire de ces BMR dans la communauté, contribuant à la majoration de leur prévalence en métropole ;

- pour le militaire devant être pris médicalement en charge sur le théâtre d'opérations, les challenges sont la maîtrise de la diffusion des BMR dans les structures sanitaires de l'avant (particulièrement les *Role 3* ou *Role 2-E*), au cours des évacuations sanitaires et dans les Hôpitaux d'instruction des armées (HIA). L'objectif principal est de limiter ou diminuer les infections liées à ces BMR, incluant les infections des plaies de guerre. L'objectif secondaire est de limiter l'installation au niveau endémique de ces BMR dans les structures de l'avant et leur importation dans les HIA. Il s'agit donc de problématiques classiques d'hygiène des soins, pour lesquelles les précautions et les actions à mener sont parfaitement connues, mais dont l'application stricte se heurte pour certaines à des contraintes opérationnelles difficiles. Cette diffusion des BMR pose inévitablement la question de la pertinence des choix d'antibiothérapie probabiliste sur le terrain, incluant l'antibioprophylaxie des plaies de guerre.

2. Définitions et principes

2.1. Résistance bactérienne

De nombreuses bactéries présentent des résistantes naturelles à certains antibiotiques, résistances caractéristiques de l'espèce et transmissibles à la

descendance. Ceci témoigne de caractéristiques structurales propres à certaines bactéries, mais aussi de l'exposition ancienne de bactéries à des molécules antimicrobiennes présentes dans la nature et de leur capacité d'adaptation.

Au-delà de ces résistances naturelles, les bactéries sont capables de développer des mécanismes acquis de résistance aux antibiotiques.

Cette résistance peut être liée :

- soit à des mutations ponctuelles ou à une accumulation de mutations chromosomiques : ces mutations peuvent conférer soit la surexpression de certains gènes de résistance (hyperproduction de céphalosporinase constitutive, surexpression de système d'efflux…), soit la modification de la cible des antibiotiques, soit la sous-expression ou la modification de la structure bactérienne (imperméabilité)… Les points communs de ces mécanismes par mutations chromosomiques sont leur stabilité et leur transmissibilité uniquement par voie verticale c'est-à-dire aux bactéries filles ;
- soit à l'acquisition de matériel génétique exogène, c'est-à-dire l'acquisition par le biais d'éléments génétiques mobiles (plasmides, transposons, intégrons) de gènes de résistance présents chez d'autres bactéries. Ces gènes sont très variés, pouvant coder pour des bêta-lactamases, des enzymes modifiant les aminosides, des gènes de résistance aux quinolones… Le point commun de ces mécanismes de support plasmidique est leur potentiel de trasmission également de façon horizontale, c'est-à-dire aux bactéries situées dans l'environnement de la bactérie donatrice, qu'elles appartiennent ou non à la même espèce. Ceci témoigne de la capacité rapide de diffusion de ces gènes de résistance et de leur potentiel épidémique.

2.2. Le concept de l'émergence et de la diffusion

Le *primum movens* de l'émergence d'une bactérie résistante aux antibiotiques est l'exposition de la bactérie à l'antibiotique, qu'il s'agisse d'une exposition dans l'environnement ou au sein des flores humaines ou animales. La prise d'un antibiotique chez l'homme agit non seulement sur les bactéries ciblées par l'antibiothérapie, mais aussi sur l'ensemble des flores commensales : flore oro-pharyngée, flore cutanée, microbiote digestif, flore génitale. Au sein de ces flores, l'antibiotique entraîne :

- la sélection de bactéries naturellement résistantes ;
- l'émergence de mutants résistants aux antibiotiques.

Le mutant résistant ayant émergé, sa survie dépend de sa viabilité, de son *fitness,* de ses capacités d'adaptation.

La diffusion des bactéries résistantes est assurée par la transmission croisée, classiquement manuportée. Ce phénomène est clairement établi pour la diffusion des bactéries dans les structures de soins, médiée par les mains des personnels soignants et éventuellement favorisée par la survie des bactéries dans l'environnement (surfaces, matériel médical…). Pour les bactéries appartenant aux flores commensales digestives humaines et animales, la problématique de la diffusion rejoint celle du péril fécal, avec

ses aspects de transmissions directe et indirecte. À l'échelon collectif, la maîtrise de la diffusion de ces BMR de réservoir entérique se décline donc également sous les concepts d'hygiène de l'eau, des aliments, des excreta ...

2.3. Colonisation et infection

Le réservoir humain de bactéries résistantes est représenté par les sujets colonisés. Alors que les patients infectés ne représentent que la partie visible de l'iceberg, les porteurs sains, non détectables en l'absence d'un dépistage ciblé, contribuent à la diffusion des bactéries résistantes. En fonction des bactéries, le site de portage est variable : nasal et cutané pour le staphylocoque doré résistant à la méticilline, digestif pour les entérobactéries et les entérocoques.

2.4. BMR et BHR-e

Les bactéries multirésistantes retenues comme représentant les risques principaux en hygiène hospitalière sont actuellement classées en deux grands groupes.

Les bactéries multirésistantes classiques sont les BMR considérées actuellement comme endémiques et pour lesquelles les mesures de lutte visent surtout à limiter une majoration de leur diffusion. Il s'agit :

- du *Staphylococcus aureus* résistant à la méticilline (SARM). Le SARM est résistant à l'ensemble des bêta-lactamines ;

- des entérobactéries (*E. coli*, *Klebsiella* spp, *Proteus* spp, *Enterobacter* spp…) productrices d'une bêta-lactamase à spectre étendu (EBLSE) hydrolysant l'ensemble des céphalosporines hormis les céphamycines et les carbapénèmes. Les BLSE les plus fréquentes actuellement sont de type CTX-M ;

- sont également incluses dans ce groupe les *Acinetobacter baumannii* multirésistants, les *Pseudomonas aeruginosa* multirésistants et les *Enterococcus faecalis* résistants aux glycopeptides.

Les Bactéries Hautement Résistantes émergentes (BHR-e) sont des BMR qui présentent de nombreuses résistances aux antibiotiques rendant complexe la prise en charge des malades et qui ont encore une très faible prévalence en métropole, alors qu'elles ont déjà diffusé dans de nombreux pays. Les mesures renforcées de lutte ont pour but de limiter leur importation en métropole et de limiter, autour de chaque cas identifié, la transmission croisée de ces BHR-e afin de freiner le plus longtemps possible leur diffusion, espérant ainsi laisser un peu de temps pour obtenir la mise sur le marché de nouveaux antibiotiques efficaces. Ces BHR-e sont :

- les entérobactéries productrices de carbapénémases (EPC) hydrolysant les carbapénèmes (ertapénème, imipénème, méropénème). Le gène codant la carbapénémase est variable : classe A (KPC, VIM, IMP), classe B (NDM), ou classe D (OXA-48), … ;

- l'*Enterococcus faecium* résistant aux glycopeptides (ERG).

3. Prévalence des bactéries multirésistantes

De façon générale, la prévalence des BMR est plus faible dans les pays européens que dans les régions subtropicales, même si les données sont très parcellaires pour ces dernières, fonction des capacités de dépistage, de diagnostic et d'antibiogrammes disponibles dans chaque pays.

En France, alors que la prévalence du portage fécal d'EBLSE dans la communauté était proche de 0 % dans les années 2000, la colonisation digestive a été estimée à 2,3 % en 2008 à partir de selles recueillies chez des militaires sains (coproculture prescrite dans le cadre d'une aptitude au travail dans la restauration) [1]. En 2012, la prévalence du portage fécal d'EBLSE dans la communauté française est estimée à 6-8 % et augmente régulièrement [2]. Leur prévalence dans les infections urinaires communautaires à *E. coli*, atteint désormais 3,5 %. Cependant, la diffusion des carbapénémases reste encore heureusement bien inférieure, concernant pour l'instant essentiellement des patients ayant un lien avec l'étranger ou des cas secondaires.

En Europe, il existe cependant des pays pour lesquels la prévalence des EBLSE et même des EPC est inquiétante : c'est par exemple le cas de la Grèce, qui fait face à la diffusion majeure de la carbapénémase KPC chez les entérobactéries, particulièrement chez *Klebsiella*.

Différentes publications rapportent des chiffres préoccupants de BMR et BHR-e en Asie, dans le sous-continent indien, au Moyen-Orient, dans certains pays d'Afrique, comme à Madagascar. Si nous nous focalisons sur le sous-continent indien, en raison de la proximité de l'Afghanistan, les EBLSE sont largement endémiques dans le pays, et les EPC sont également retrouvées fréquemment, que ce soit dans des infections (6,9 % des entérobactéries isolées dans un hôpital indien sont productrices de la carbapénémase NDM) ou dans l'environnement [3, 4]. Au Pakistan, le portage d'EPC dans les hôpitaux civils ou militaires est évalué à 18 % [5]. Au sein d'une population de patients pakistanais consultant pour diarrhée, 8,6 % sont colonisés au niveau digestif par une EPC, exclusivement NDM [6]. La carbapénémase NDM est également retrouvée fréquemment chez *Acinetobacter baumannii* au Pakistan [7]. Si la prévalence en Afghanistan n'est pas déterminée, la première entérobactérie productrice de NDM a été identifiée en 2012 dans un hôpital militaire américain de terrain, soulignant bien la réalité du risque sur le territoire [8].

Bien que l'importation de BMR chez des patients rapatriés ne soit pas une nouveauté, les communautés scientifique et médicale, relayées par les media, ont été fortement marquées en 2009 par l'identification au cours d'une infection urinaire d'une *Klebsiella pneumoniae* productrice de la carbapénémase NDM-1 chez un suédois ayant voyagé en Inde [9]. Les études épidémiologiques ont montré rapidement qu'à partir du réservoir principal localisé en Inde et d'un réservoir secondaire dans les Balkans,

ces souches ont diffusé initialement dans les pays ayant des relations privilégiées avec l'Inde (Grande-Bretagne) puis dans de nombreux pays [10].

Pour approcher le risque d'acquisition de BMR par le militaire en opérations extérieures, on peut s'aider des études menées chez les voyageurs, en sachant que les durées de séjour sont souvent inférieures à celles d'une opération extérieure. À ce jour, ces études n'ont objectivé que des colonisations par EBLSE. Aucune EPC acquise au cours d'un voyage n'a encore été rapportée dans ces études prospectives, ce qui ne saurait tarder. Ainsi, le taux d'acquisition d'une EBLSE lors d'un voyage a été estimé entre 24 et 30 %, toutes zones géographiques confondues. Dans toutes les études, le risque le plus élevé, pouvant dépasser 70 %, est retrouvé pour le sous-continent indien [11-15].

4. Impacts clinique et épidémiologique

4.1. Risques épidémiques

L'installation de formations sanitaires de l'avant dans des zones géographiques de forte prévalence de BMR (sous-continent indien, Asie, Moyen-Orient, Afrique) expose inévitablement, comme dans toute structure de soins, à un risque épidémique au sein des structures de *Role 2-E* ou *Role 3*. Le risque existe mais reste modéré si les sujets pris en charge sont des blessés français avec des durées d'hospitalisation brèves (mise en condition, intervention chirurgicale, évacuation). Le risque est nettement majoré si la structure prend également en charge des patients locaux (dont la colonisation par des BMR est plus élevée) et encore plus si les durées d'hospitalisation de ces patients sont prolongées [16, 17]. Nous verrons que ce risque est d'autant plus important que l'architecture de ces structures de l'avant se prête difficilement à une application stricte des mesures d'isolement ou de *cohorting* telles que pratiquées en métropole. Ce risque épidémique concerne toutes les BMR, mais dans le contexte actuel essentiellement les EBLSE, les EPC, et les *Acinetobacter baumannii* multirésistants (producteurs ou non de carbapénémases).

Le risque épidémique concerne également les Hôpitaux d'instruction des armées en métropole accueillant les blessés ou malades rapatriés des théâtres d'opérations. Ces patients dont le portage est potentiellement plus élevé peuvent être la source de diffusion d'une BMR, voire dans les années à venir d'une BHR-e, dans ces structures de rôle 4, si les mesures d'hospitalisation en chambre seule avec précautions complémentaires de type contact jusqu'à obtention d'un résultat de dépistage négatif ne sont pas strictement appliquées [18, 19].

Ce risque épidémique est illustré lors des conflits récents en Irak et en Afghanistan par la diffusion d'*Acinetobacter baumannii* multirésistants au sein des forces armées

de plusieurs populations, dont les Américains, les Anglais et les Canadiens [20-26]. Les études microbiologiques américaines, poussées jusqu'au typage moléculaire, ont montré qu'il s'agissait d'une contamination secondaire des plaies au niveau des hôpitaux de campagne, avec une diffusion épidémique le long de la chaîne de rapatriement, puis dans les hôpitaux militaires de transit localisés en Allemagne. Ces infections rentraient donc dans le cadre des infections liées aux soins. La diffusion de ces *Acinetobacter baumannii* multirésistants, favorisée par leurs capacités de survie prolongée sur les surfaces, était la conséquence de précautions d'hygiène insuffisantes et d'un mésusage des antibiotiques.

4.2. Risque individuel en opérations extérieures ou au retour

La colonisation par une BMR ou une BHR-e n'entraîne aucune conséquence délétère pour le porteur si la bactérie est seulement à l'état de portage. Le portage digestif de BLSE est de durée variable, de quelques jours à quelques mois, avec une médiane de six mois [27]. La durée de ce portage est majorée en cas de prise d'antibiotiques ou chez les sujets fragilisés. À ce jour, aucun traitement ne permet de supprimer le portage digestif de BLSE, d'EPC ou d'ERG. La problématique est différente pour le SARM, pour lequel il existe des stratégies de décolonisation alliant des applications intranasales de mupirocine et des douches à la chlorhexidine.

Le risque à plus ou moins long terme est de retrouver la bactérie en situation infectieuse. Pour les BMR de réservoir digestif, les infections pouvant impliquer le plus fréquemment une BMR pendant le séjour ou au retour sont logiquement les infections urinaires (particulièrement au vu de la féminisation), puis les infections digestives (appendicite, péritonite, sigmoïdite).

Dans le cadre des opérations extérieures, l'enjeu majeur est la surinfection de plaies de guerre par des BMR. Si la colonisation primaire des blessures de guerre implique des bactéries de la flore cutanée ou de l'environnement, généralement sensibles aux antibiotiques, les plaies de guerre sont secondairement colonisées par une flore « nosocomiale », conséquence de la pression de sélection antibiotique et de la transmission croisée par les soignants et l'environnement hospitalier. Si la colonisation par des BMR d'une plaie de guerre n'implique pas forcément une infection ultérieure par cette BMR, elle en augmente nettement le risque. Les infections des plaies de guerre étant des infections difficiles à traiter, tant au niveau de la chirurgie que de l'antibiothérapie, une infection par une BMR restreint encore le nombre de molécules utilisables et allonge fréquemment la durée de traitement.

5. Stratégies de contrôle et de prévention

5.1. Juste prescription antibiotique dans les formations sanitaires déployées sur les théâtres d'opérations

La maîtrise de la pression de sélection antibiotique est un point clé de la lutte contre l'émergence et la diffusion des BMR. Si les actions sur la pression de sélection à l'échelle du pays d'accueil sont impossibles, plusieurs interventions peuvent être menées dans les structures sanitaires déployées sur le théâtre.

La juste prescription antibiotique concerne certes le volume de prescription, mais aussi sa qualité : indication, durée, réévaluation. La posologie adaptée des antibiotiques est également un point important afin d'éviter l'apparition de mutants résistants. La formation des prescripteurs au maniement des antibiotiques doit se concevoir bien en amont de leur déploiement sur le terrain, s'appuyant sur des formations dans les HIA, ainsi que sur des enquêtes et audits. La diffusion d'outils d'aide à la prescription, adaptés aux pathologies rencontrées sur les théâtres, est un levier important. Le recours à un ou des centres référents pour avis téléphonique ou informatique est également un des outils à formaliser dans les années à venir.

La juste prescription antibiotique concerne également l'antibioprophylaxie des plaies de guerre, complément indispensable d'une irrigation, d'un parage et d'une immobilisation de qualité. La connaissance de la diffusion des BMR peut avoir pour conséquence une majoration du risque perçu par les praticiens et une surenchère, à la fois en termes de spectre d'action des molécules, du nombre de molécules utilisées ou de leur durée d'administration, et ce en dehors de toute recommandation. Bien au contraire, le risque de telles pratiques est une majoration de la pression antibiotique et l'émergence, à l'échelon individuel et collectif, de souches multirésistantes. Pour rappel, l'antibioprophylaxie de « l'avant » se distingue de l'antibioprophylaxie en chirurgie réglée car les antibiotiques sont administrés après l'effraction cutanée, mais elle en partage néanmoins certains principes : administration précoce, utilisation d'antibiotiques efficaces sur les micro-organismes retrouvés à la phase initiale sur les plaies de guerre, doses élevées, durée d'administration courte. L'antibioprophylaxie des plaies de guerre a pour objectif de prévenir la phase de pullulation microbienne engagée dès la 6e heure et qui précède l'infection précoce. Elle doit donc impérativement prévenir la gangrène gazeuse due aux clostridies gazogènes et plus particulièrement à *Clostridium perfringens*, ainsi que les infections à streptocoques β-hémolytiques du groupe A (*Streptococcus pyogenes*) [28-30]. Différentes études microbiologiques ont en effet montré que les bactéries retrouvées au niveau de la flore de contamination initiale de la plaie étaient des bactéries environnementales ou de la flore cutanée, majoritairement sensibles aux antibiotiques. Ceci reste vrai à l'époque de la diffusion des BMR [31]. La colonisation ou l'infection des plaies par des BMR est essentiellement liée à la contamination croisée au sein des structures sanitaires ou

à une pression antibiotique élevée. Ainsi, un élargissement du spectre afin de couvrir les BMR semble inutile et pourrait au contraire compromettre l'emploi ultérieur de certaines molécules dans la prise en charge du patient.

L'antibioprophylaxie de l'avant, au plus près du lieu de la blessure, est circonscrite au cadre des lésions ouvertes contaminées par la flore initiale, en complément de la chirurgie d'urgence. Elle n'a pas sa place dans le cas d'un traumatisme fermé (en dehors d'une antibioprophylaxie en chirurgie réglée), d'une brûlure isolée, ou d'un drainage thoracique simple. Ses modalités de prescription dans le SSA sont parfaitement définies en fonction du type de lésion, du délai de prise en charge et d'une allergie éventuelle aux bêta-lactamines. L'observance des praticiens militaires aux schémas recommandés devrait être mieux documentée.

5.2. Renforcement des précautions d'hygiène dans les formations sanitaires déployées sur les théâtres d'opérations

La maîtrise de la pression de sélection antibiotique est un point essentiel mais pas suffisant. Il est primordial de lutter contre la transmission croisée à toutes les étapes de la chaîne de rapatriement jusque dans les HIA.

5.2.1. Les précautions standard

Elles sont le socle de base de la lutte contre la transmission croisée. En effet, il est illusoire de penser identifier avec exhaustivité les patients porteurs de BMR pour appliquer des précautions spécifiques. Ces précautions standard s'appliquent ainsi pour tout patient. Elles demeurent applicables, sans aucune difficulté, dans les structures sanitaires de l'avant. Celles-ci incluent notamment :

- l'hygiène des mains, avant tout soin au patient, après chaque retrait de gants, entre chaque patient. Cette hygiène des mains doit reposer au maximum sur l'usage de produits hydro-alcooliques, à disposition dans tous les théâtres d'opérations ;
- le port de gants de soins lors de tout risque de contact avec les plaies, le sang ou les liquides biologiques ou lors de tout acte avec risque de piqûre ou coupure ;
- l'utilisation d'équipements individuels de protection (surblouse à usage unique, lunettes) lors de tout geste exposant à un risque de contact ou de projection de liquides biologiques ;
- l'antisepsie adaptée au cours des procédures de soins et des procédures invasives ;
- la désinfection régulière des surfaces et des locaux de soins ;
- le tri et l'évacuation régulière des déchets d'activités de soins.

À l'heure de la diffusion des BMR et des BHR-e de réservoir entérique, les bonnes pratiques de gestion des excreta sont un élément clé de la lutte contre la transmission croisée.

5.2.2. Les précautions complémentaires de type contact

Selon les recommandations françaises [32], ces précautions complémentaires doivent s'appliquer à tout patient porteur de BMR ou en l'attente du résultat d'un dépistage de BMR. Elles reposent sur :

- l'hospitalisation en chambre simple avec sanitaire individuel ;
- la signalisation du portage vis-à-vis du personnel ;
- le renforcement de l'hygiène des mains, du port de surblouse, du bionettoyage.

L'application complète de ces recommandations, particulièrement l'hospitalisation en chambre seule, est malheureusement rarement applicable dans les structures sanitaires de l'avant. Par contre, les mesures simples comme le renforcement de l'hygiène des mains, l'usage systématique des produits hydro-alcooliques, le port de surblouses à usage unique, la signalisation « BMR » du patient auprès de tous les intervenants de la chaîne de soins sont parfaitement applicables. Afin de pallier les difficultés d'isolement de ces patients en chambre seule, il peut être conseillé d'augmenter la distance entre deux lits, en respectant par exemple un espacement de trois mètres. On peut proposer l'usage de paravents ou de marquage au sol, qui, s'ils ne sont pas des barrières physiques pour les bactéries, permettent de stimuler la vigilance des soignants.

5.2.3.Quelques stratégies d'organisation générale

Quelques stratégies d'organisation générale peuvent également être conseillées :

- l'évacuation rapide des patients permet de limiter le contact avec les patients locaux éventuellement colonisés ;
- la sectorisation des patients, en séparant par exemple les filières de rapatriement des filières d'hospitalisation classique pour les patients locaux ;
- la limitation de la durée d'hospitalisation des patients locaux, difficile en pratique, permet également de limiter la constitution d'un réservoir ;
- l'identification de chambre ou box particuliers pour les patients contagieux ;
- l'identification de sanitaires particuliers, avec bionettoyage renforcé, pour les patients porteurs de BMR ;
- la limitation des intervenants pour la prise en charge des patients infectés ou colonisés ;
- l'organisation des visites et des soins en partant des secteurs ou patients les moins à risque vers les plus à risque.

5.2.4. Application des bonnes pratiques au bloc opératoire

L'application des bonnes pratiques au bloc opératoire reste un élément clé de la prévention des infections du site opératoire. Même dans un environnement très dégradé en temps de conflit, la désinfection chirurgicale des mains par friction hydro-alcoolique, le port d'une tenue adaptée (casaque, masque chirurgical correctement positionné et port de deux paires de gants stériles), une préparation antiseptique très soigneuse du champ opératoire, un bionettoyage renforcé des locaux et la limitation des personnes présentes dans la salle opératoire sont incontournables.

5.3. Maintien d'une capacité de diagnostic microbiologique dans les formations sanitaires déployées sur les théâtres d'opérations

Pour une structure de *Role 3*, comprenant des lits de réanimation et des lits d'hospitalisation classique, le maintien d'une capacité de diagnostic microbiologique est un support nécessaire pour la maîtrise des BMR.

Les antibiogrammes doivent pouvoir être réalisés pour les bactéries d'intérêt afin de guider le traitement, de pouvoir adapter ou désescalader les schémas d'antibiothérapie probabiliste dès 48 heures. Ils permettent également d'identifier les multirésistances devant conduire au renforcement des mesures d'hygiène. À ce titre, la dotation 2012 en disques d'antibiotiques pour réaliser les antibiogrammes, ne correspond plus forcément aux molécules utilisées en thérapeutiques par les cliniciens. De plus, certaines recommandations de lecture de l'antibiogramme ont évolué et nécessitent des disques complémentaires. Pour des théâtres particuliers comme l'Afghanistan, avec un risque de BMR important, une dotation élargie est justifiée.

Le dépistage systématique de BMR ne fait pas partie des examens réalisés dans les laboratoires de campagne (SARM au niveau du nez, EBLSE au niveau du rectum). L'intérêt est en effet discutable car il conviendrait de bien définir quelle est la population cible et de vérifier qu'un dépistage positif entraînerait effectivement la mise en place de mesures spécifiques (chambre seule…)… Pour les militaires, le résultat risque d'être obtenu après leur évacuation vers la métropole (48 h). Pour les patients locaux, l'acceptation d'un tel écouvillonnage rectal n'est pas évidente. Enfin, dans les zones géographiques où la prévalence d'une BMR est très importante, faut-il baser sa stratégie d'hygiène sur le résultat d'un dépistage ou considérer par défaut que tous les patients sont potentiellement colonisés et appliquer des précautions contact renforcées ? Enfin, se pose le problème de la chaîne logistique pour ravitaillement en géloses chromogéniques spécifiques.

Pour l'HMC KaIA à Kaboul, un tel dépistage serait envisageable à l'admission en réanimation par exemple.

La mise sur le marché de géloses spécifiques permettant le dépistage des EPC pourrait trouver sa place dans des structures de l'avant *Role 3* ou *Role 2-E*, avant d'identifier rapidement un phénomène émergent. Le développement de tests moléculaires de dépistage des BMR, rapides mais très coûteux, devra également donner lieu à une évaluation de la balance bénéfice/coût.

5.4. Stratégie de search and control *à l'admission dans les* Roles 4 *de métropole*

Cette stratégie de dépistage systématique de tout patient rapatrié ou ayant été hospitalisé à l'étranger dans l'année n'est pas négociable et doit être appliquée dans tous les HIA. Cette stratégie incluant l'hospitalisation en chambre seule jusqu'à

obtention d'un résultat négatif trouve donc sa limite dans le nombre de chambres seules disponibles.

6. Les messages clés pour le Service de santé des armées

Le tableau 1 résume les différents messages-clés et les stratégies de lutte d'intérêt pour le SSA. Majoritairement, ces stratégies reposent sur une formation en amont des personnels, que ce soit en termes de prescription des antibiotiques ou d'hygiène. Il est illusoire de penser qu'une simple formation avant départ ou sur site est suffisante.

La stratégie à long terme repose sur une formation initiale et continue solide dans les Hôpitaux d'instruction des armées ou dans les Centres médicaux des armées. Ceci implique *a minima* pour les années futures un maintien des compétences et des effectifs en hygiène et en infectiologie, afin que les formations au quotidien puissent être assurées par les Equipes opérationnelles d'hygiène hospitalière et les Equipes mobiles d'antibiothérapie.

	Messages	**Startégie permanente dans le SSA en métropole**	**Mesures particulières sur les théâtres d'opération**
1. Maitrise de la pression de sélection antibiotique	La juste prescrition des antibiotiques (justification, réévaluation, posologie, durée) est un point clé pour sauvegarder l'efficacité des antibiotiques dans les années futures	Formations des prescripteurs Outils d'aide à la prescription Outil informatique de réévaluation des prescriptions à 72 h, puis 1 semaine Valorisation d'équipes mobiles d'antibiothérapie Enquêtes et audits de prescriptions Formation spécifique des praticiens projetables sur l'antibioprophylaxie des plaies de guerre	Outils formalisés et standardisés d'aide à la prescription des antibiotiques en fonctions des grands syndromes cliniques Formalisation du recours à une expertise en métropole (téléphone, informatique, télémédecine) Diffusion des recommandations sur l'antibioprophylaxie des plaies de guerre et évaluation des pratiques. Suivi des consommations d'antibiotiques dans les *Roles 3*
2. Hygiène de base	Le péril fécal contribue à la diffusion des BMR de réservoir entérique	Renforcer les campagnes générales sur l'hygiène des mains dans la vie quotidienne (après être allé aux toilettes, avant le repas)	Chaîne systématique de lavage des mains avant le repas Favoriser l'accès au lavage des mains dans les sanitaires Hygiène des excreta en campagne Hygiène de l'eau

3. Précautions d'hygiène dans les structures sanitaires			
Architecture	La transmission croisée est majorée dans les chambres communes.	Dans les HIA, augmenter le nombre de chambres simples avec sanitaire dédié	En fonction des conditions stratégiques et des possibilités : Pour les futurs déploiements en rôle 3, prévoir la possibilité de chambres simples et d'un secteur de *cohorting* Augmenter le nombre de sanitaires pour les patients
Précautions standard	Les PS sont le socle de la prévention.	Renforcer le niveau des précautions standard dans les HIA et les CMA Vigilance sur les bonnes pratiques du port de gants Audits réguliers	Application stricte des précautions standard Affiches de sensibilisation. Renforcer le bionettoyage.
Précautions complémentaires contact		Renforcer l'usage des produits hydro-alcooliques et la qualité des gestes d'hygiène des mains dans les HIA et les CMA. Audits réguliers.	A défaut de chambre simple, espacer les lits , séparer les filières. Identifier les sanitaires. Renforcer le port des EPI. Faciliter la signalisation. Rendre accessible les produits hydro-alcooliques dans les couloirs de circulation, dans les chambres et pour les visiteurs.
Gestion des excreta	Le tube digestif est le réservoir des EBLSE et des EPC. La manipulation des excreta est un acte à risque. Les selles peuvent contenir 10^{12} bactéries par gramme.	Formation continue dans les HIA	Maintien des procédures de désinfection, accès à des lave-bassins, interdiction des douchettes, accès à des sacs gélifiants.
Organisation spécifique	Les bonnes pratiques ne doivent pas être perdues en Opex	Haut niveau d' observance aux recommandations en métropole	Formation de rappel avant départ pour les sites à risque Formation du cadre Sensibilisation du Médecin-chef Implication du rôle du cadre de santé et du Médecin-chef dans la lutte contre les BMR.
4. Capacités microbiologiques	Une capacité en microbiologie contribue au bon usage des antibiotiques et à l'identification rapide des BMR ou des phénomènes émergents	Maintien d'un pool de techniciens formés Maintien d'une expertise en métropole Veille scientifique Surveillance prospective de l'épidémiologie de la résistance bactérienne dans les HIA, chez les rapatriés et si possible dans les *Roles 3*.	Adaptation du panel de disques d'antibiotiques Possibilités d'installer sur certains sites de capacités de dépistage si besoin. Possibilités d'envoyer par mail des images d'antibiogrammes. Envoi des souches problématiques vers le laboratoire référent de métropole.

7. Conclusion

L'enjeu suivant est de ne pas perdre les bonnes habitudes sur le théâtre d'opération. De façon non spécifique à la problématique des BMR, ceci repose :

- sur un fort ancrage des pratiques en amont chez le personnel ;
- pour certains sites à risque, sur des formations spécifiques de sensibilisation avant le départ ;
- sur la diffusion d'outils d'aide à l'observance ou de fiches techniques ;
- sur le rôle central de l'encadrement sur le théâtre (par exemple, le rôle du cadre de santé dans les *Roles 3*).

Remerciements

L'auteur tient à remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à la construction de la leçon de 24 heures (par ordre alphabétique) : Christine Bigaillon, Gilles Defuentes, Hervé Delacour, Deborah Delaune, Cécile Ficko, Frédéric Janvier, Isabelle Leparc-Goffart, Christophe Martinaud, Stéphane Mérat, Jean-Baptiste Meynard, Éric Valade.

Références bibliographiques

[1] Janvier F, Mérens A, Delaune D, Soler C, Cavallo JD. Fecal carriage of third-generation cephalosporins-resistant *Enterobacteriaceae* in asymptomatic young adults: evolution between 1999 and 2009. Pathol Biol 2011;59:97-101.

[2] Nicolas-Chanoine MH, Gruson C, Bialek-Davenet S, Bertrand X, Thomas-Jean F, Bert F, 10-Fold increase (2006-11) in the rate of healthy subjects with extended-spectrum bêta-lactamase-producing Escherichia coli faecal carriage in a Parisian check-up centre. J Antimicrob Chemother. 2013 Mar;68:562-8.

[3] Seema K, Ranjan Sen M, Upadhyay S, Bhattacharjee A. Dissemination of the New Delhi metallo-β-lactamase-1 (NDM-1) among *Enterobacteriaceae* in a tertiary referral hospital in north India. J Antimicrob Chemother. 2011 Jul;66:1646-7.

[4] Walsh TR, Weeks J, Livermore DM, Toleman MA. Dissemination of NDM-1 positive bacteria in the New Delhi environment and its implications for human health: an environmental point prevalence study. Lancet Infect Dis. 2011 May;11:355-62.

[5] Nahid F, Khan AA, Rehman S, Zahra R. Prevalence of metallo-bêta-lactamase NDM-1-producing multi-drug resistant bacteria at two Pakistani hospitals and implications for public health. J Infect Public Health. 2013 Dec;6:487-93.

[6] Hasan B, Perveen K, Olsen B, Zahra R. Emergence of carbapenem-resistant *Acinetobacter baumannii* in hospitals in Pakistan. J Med Microbiol. 2014 Jan;63(Pt 1):50-5.

[7] Day KM, Salman M, Kazi B, Sidjabat HE, Silvey A, Lanyon CV, et al. Prevalence of NDM-1 carbapenemase in patients with diarrhoea in Pakistan and evaluation of two chromogenic culture media. J Appl Microbiol. 2013 Jun;114:1810-6.

[8] McGann P, Hang J, Clifford RJ, Yang Y, Kwak YI, Kuschner RA, et al. Complete sequence of a novel 178-kilobase plasmid carrying bla(NDM-1) in a *Providencia stuartii* strain isolated in Afghanistan. Antimicrob Agents Chemother. 2012 Apr;56:1673-9.

[9] Ku Yong D, Toleman MA, Giske CG, Cho HS, Sundman K, Lee K, et al. Characterization of a new metallo-beta-lactamase gene, bla(NDM-1), and a novel erythromycin esterase gene carried on a unique genetic structure in *Klebsiella pneumoniae* sequence type 14 from India. Antimicrob Agents Chemother. 2009 Dec;53:5046-54.

[10] Kumarasamy KK, Toleman MA, Walsh TR, Bagaria J, Butt F, Balakrishnan R, et al. Emergence of a new antibiotic resistance mechanism in India, Pakistan, and the UK: a molecular, biological, and epidemiological study. Lancet Infect Dis. 2010 Sep;10:597-602.

[11] Peirano G, Laupland KB, Gregson DB, Pitout JD.Colonization of returning travelers with CTX-M-producing *Escherichia coli.* J Travel Med. 2011 Sep-Oct;18:299-303.

[12] Laupland KB, Church DL, Vidakovich J, Mucenski M, Pitout JD. Community-onset extended-spectrum beta lactamase (ESBL) producing *Escherichia coli:* importance of international travel. J Infect. 2008 Dec;57:441-8.

[13] Tängdén T, Cars O, Melhus A, Löwdin E. Foreign travel is a major risk factor for colonization with *Escherichia coli* producing CTX-M-type extended-spectrum beta-lactamases: a prospective study with Swedish volunteers. Antimicrob Agents Chemother. 2010 Sep;54:3564-8.

[14] Ostholm-Balkhed A, Tärnberg M, Nilsson M, Nilsson LE, Hanberger H, Hällgren A Travel Study Group of Southeast Sweden. Travel-associated faecal colonization with ESBL-producing *Enterobacteriaceae*: incidence and risk factors. J Antimicrob Chemother. 2013 Sep;68:2144-53.

[15] Paltansing S, Vlot JA, Kraakman ME, Mesman R, Bruijning ML, Bernards AT, et al. Extended-spectrum β-lactamase-producing *Enterobacteriaceae* among travelers from the Netherlands. Emerg Infect Dis. 2013 Aug;19:1206-13.

[16] Griffith ME, Gonzales RS, Holcomb JB, Hospenthal DR, Wortmann GW, Murray CK. Factors associated with recovery of *A. baumannii* in a combat support hospital. Infect Control hosp epidemiol 2008.29:664-6.

[17] Hospenthal DR, Green AD, Crouch HK, English JF, Pool J, Yun HC, et al. Prevention of Combat-Related Infections Guidelines Panel. Infection prevention and control in deployed military medical treatment facilities. J Trauma. 2011;71(2 Suppl 2):S290-8.

[18] Haut Conseil de la Santé Publique. Commission spécialisée Sécurité des patients: infections nosocomiales et autres évènements indésirables liés aux soins et aux pratiques. Control of multidrug-resistant bacteria imported into France from patients repatriated or with a history of hospitalisation abroad.Nov 2010. French. Available from: http://www.hcsp.fr/docspdf/avisrapports/hcspr20101116_bmrimport.pdf.

[19] Lepelletier D, Andremont A, Grandbastien B. National Working Group. Risk of highly resistant bacteria importation from repatriates and travelers hospitalized in foreign countries: about the French recommendations to limit their spread. J Travel Med. 2011;18:344-51.

[20] Murray CK. Epidemiology of infections associated with combat-related injuries in Iraq and Afghanistan. J Trauma. 2008;64(3 Suppl):S232-8.

[21] Owens BD, Kragh JF Jr, Wenke JC, Macaitis J, Wade CE, Holcomb JB. Combat wounds in operation Iraqi Freedom and operation Enduring Freedom. J Trauma. 2008 Feb;64:295-9.

[22] Calhoun JH, Murray CK, Manring MM. Multidrug-resistant organisms in military war wounds from Iraq and Afghanistan. Clin Orthop Relat Res.2008;466:1356-62.

[23] Davis KA, Moran KA, McAllister CK, Gray PJ. Multidrug-resistant *Acinetobacter* extremity infections in soldiers. Emerg Infect Dis. 2005;11:1218-24.

[24] Tien HC, Battad A, Bryce EA, Fuller J, Mulvey M, Bernard K, et al. Multi-drug resistant *Acinetobacter* infections in critically injured Canadian force soldiers. BMC Infect Dis 1007;7:95.

[25] Jones A, Morgan D, Walsh A, Turton J, Livermore D, Pitt T, et al. Importation of multidrug-resistant *Acinetobacter* spp infections with casualties from Iraq. Lancet Infect Dis 2006;6:317-8.

[26] Scott P, Deye G, Srinivasan A, Murray C, Moran K, Hulten Ed et al. An outbreak of multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii-calcoaceticus* complex infection in the US military health Care System associated with military operations in Iraq. Clin Infect Dis 2007; 44: 1577-84.

[27] Tham J, Walder M, Melander E, Odenholt I. Duration of colonization with extended-spectrum beta-lactamase-producing *Escherichia coli* in patients with travellers' diarrhoea. Scand J Infect Dis. 2012 Aug;44:573-7.

[28] Fleming A. On the bacteriology of septic wounds. The Lancet. 1915;186:638-43.

[29] Eardley WGP, Brown KV, Bonner TJ, Green AD, Clasper JC. Infection in conflict wounded. Phil Trans R Soc B 2011;366:204-18.

[30] Hutley EJ, Green AD. Infection in wounds of conflict--old lessons and new challenges. J R Army Med Corps. 2009 Dec;155:315-9.

[31] Murray CK, Roop SA, Hospenthal DR, Dooley DP, Wenner K, Hammock J et al. Bacteriology of war wounds at the time of injury. Mil Medecine 2006;171:8269.

[32] Société Française d'Hygiène Hospitalière. National guidelines on cross transmission prevention : contact precautions, Avril 2009. (http://www.sf2h.net/publications-sf2h.html)

Livre de l'École du Val de Grâce Annales 2013-2014

Le recrutement des praticiens professeurs agrégés du Service de santé des armées (SSA), professeurs agrégés du Val-de-Grâce, est une des missions de l'École du Val-de-Grâce.

À l'issue de quatre épreuves jugeant du parcours professionnel et des qualités scientifiques et pédagogiques du candidat à l'agrégation une cinquième épreuve, surnommée « leçon des 24 heures », vient clôturer ce concours exigeant. Pour cette dernière épreuve le candidat doit préparer en une journée une conférence sur un thème donné par le jury. Il est totalement libre tant pour les documents qu'il utilise ou consulte que pour les soutiens et conseils qu'il sollicite : camarades de la spécialité, maîtres et patrons, collaborateurs de son service, élèves plus jeunes souvent plus tournés vers les nouvelles technologies … Finalement cette épreuve est au plus prés de la vie quotidienne d'un professeur : comment préparer en une journée une leçon ou une conférence pour laquelle il est sollicité au dernier moment.

Ces « leçons », la plupart du temps de très haut niveau, étaient rarement diffusées une fois le concours terminé. Ce fut le mérite du Médecin général inspecteur Vergos de vouloir rassembler dans le troisième volume des Annales de l'École du Val-de-Grâce (le Livre de l'École) une sélection des leçons prononcées ces dernières années.

Nous avons voulu poursuivre cette action en rassemblant dans ce quatrième volume certaines leçons des deux dernières années et nous remercions les jeunes professeurs des dix chaires de l'École qui ont bien voulu mettre par écrit ces leçons prononcées le jour du concours. Nous apprécions parmi eux la présence de professeurs marocains et sénégalais, témoin des liens anciens et forts avec ces pays où oeuvrent des professeurs de l'École du Val-de-Grâce.

Ces leçons abordent des sujets extrêmement variés faisant une large place aux opérations extérieures et aux environnements extrêmes mais montrant aussi l'importance de la pratique quotidienne hospitalière et de recherche dans le SSA. Nous souhaitons que la lecture de ce Livre montre la qualité du corps professoral et son investissement constant pour « porter la science », en répondant aux impératifs qui sont l'essence même de notre existence : le soutien des forces, la participation au service public hospitalier et la recherche.

Médecin Général Inspecteur François PONS
Professeur agrégé du Val-de-Grâce
Directeur de l'enseignement et de la formation du Service de santé des armées
Directeur de l'École du Val-de-Grâce





ISBN :978-2-11-138874-1